

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Анализ напряженно-демпфированного состояния канатной муфты методом конечных элементов с использованием комплекса ANSYS</b>

УДК 621.825-567.4:539.376

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТПМ	Светашков Александр Андреевич	д.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры экономики природных ресурсов	Шарф Ирина Валерьевна	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры Экологии и безопасности жизнедеятельности	Кырмакова Ольга Сергеевна			

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

Томск – 2017 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Уровень образования - магистратура  
Кафедра теоретической и прикладной механики  
Период выполнения: весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	05.06.2017 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
29.04.2016	<i>Повышение квалификации по программе «Инженерный анализ в системе конечно-элементного анализа ANSYS»</i>	18
06.09.2016	<i>Ведение</i>	15
06.09.2016	<i>Обзор литературы</i>	17
30.11.2016	<i>Расчетная часть работы</i>	17
28.01.2017	<i>Анализ результатов</i>	17
22.05.2017	<i>Оформление</i>	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТПМ	Светашков Александр Андреевич	д.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ТПМ	Пашков Евгений Николаевич	к.т.н.		

## Запланированные результаты обучения ООП

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>Р1</b>	Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения <i>прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем</i> , соответствующих профилю подготовки (в нефтегазовом секторе экономики)	ОК-1; ОК-2; ОК-3, ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23
<b>Р2</b>	Планировать и проводить аналитические и экспериментальные <i>исследования</i> с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в <i>сложных и неопределённых условиях</i> ; использовать <i>принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</i>	ОК-1; ОК-2; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23
<b>Р3</b>	Проявлять профессиональную <i>осведомленность о передовых знаниях и открытиях</i> в области нефтегазовых технологий с учетом <i>передового отечественного и зарубежного опыта</i> ; использовать <i>инновационный подход</i> при разработке новых идей и методов <i>проектирования</i> объектов нефтегазового комплекса для <i>решения инженерных задач развития</i> нефтегазовых технологий, <i>модернизации и усовершенствования</i> нефтегазового производства.	ОК-1; ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23
<b>Р4</b>	<i>Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы</i> для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила <i>охраны здоровья и безопасности труда</i> , выполнять требования по <i>защите окружающей среды</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22;
<b>Р5</b>	Быстро ориентироваться и выбирать <i>оптимальные решения в многофакторных ситуациях</i> , владеть методами и средствами <i>математического моделирования</i> технологических процессов и объектов	ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-17; ПК-20;
<b>Р6</b>	Эффективно использовать любой имеющийся арсенал технических средств для максимального приближения к поставленным производственным целям при <i>разработке и реализации проектов</i> , проводить <i>экономический анализ затрат, маркетинговые исследования, рассчитывать экономическую эффективность</i> .	ОК-2; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23

№	Результаты обучения	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
1	2	3
<b>P7</b>	Эффективно работать <i>индивидуально</i> , в качестве <i>члена и руководителя команды</i> , умение формировать задания и <i>оперативные планы</i> всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, готовность нести <i>ответственность за результаты работы</i>	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-23
<b>P8</b>	Самостоятельно учиться и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности; активно <i>владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности	ОК-1; ОК-2; ОК-3; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-7, ОПК-8, ПК-1; ПК-8; ПК-23

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт природных ресурсов  
Направление подготовки 21.04.01 «Нефтегазовое дело»  
Кафедра теоретической и прикладной механики

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

Пашков Е.Н.

(Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Севостьянову Андрею Олеговичу

Тема работы:

Анализ напряженно-демпфированного состояния канатной муфты методом конечных элементов с использованием комплекса ANSYS

Утверждена приказом директора (дата, номер)

23.03.2017, №2067/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

05.06.2017

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

**Исходные данные к работе**

Муфта канатного типа, в момент пиковой нагрузки от электродвигателя. Материал изготовления полумуфт сталь 45, демпфирующие элементы представлены в виде стальных канатов марки ЛКР-36. Крутящий момент на муфту подается от электродвигателя марки СТДМ-6300. Канаты закреплены на полумуфтах методом заливки легкоплавким материалом.

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Произвести анализ самых распространенных видов муфт использующихся в нефтегазовой промышленности.</li> <li>2. Произвести расчет напряженно-деформированного состояния предложенной конструкции муфты канатного типа, методом конечных элементов, с использованием комплекса ANSYS.</li> <li>3. Проанализировать полученные в ходе расчета данные.</li> <li>4. Сделать вывод о возможности использования канатов в качестве демпфирующих элементов в конструкции муфт.</li> </ol>
<b>Перечень графического материала</b>	
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Шарф Ирина Валерьевна, доцент, к.э.н.
Социальная ответственность	Кырмакова Ольга Сергеевна, ассистент
<b>Приложение А (на иностранном языке)</b>	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
<b>Обеспечение центровки агрегата</b>	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	25.05.2017

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры ТПМ	Светашков Александр Андреевич	д.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 110 с., 47 рисунков, 13 таблиц, 37 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: муфта канатного типа, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, комплекс ANSYS, стальной канат.

Объектом исследования является – муфта канатного типа.

Цель работы – определение напряженно-демпфированного состояния муфты и возможность использования канатов. В процессе исследования проводился анализ используемых в производстве типов муфт, изучение их конструкций, достоинств и недостатков. После чего был произведен расчет, по заданным параметрам, напряженно-демпфированного состояния муфты канатного типа, с помощью метода конечных элементов с использованием комплекса ANSYS.

В результате исследования был сделан вывод, что данная модель канатной муфты является жизнеспособной, и может применяться в реальном процессе производства.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: Полумуфты изготовлены из стали 45, демпфирующие элементы в виде стальных канатов марки ЛКР-36.

Степень внедрения: Исходя из полученных при расчетах результатов, можно сделать вывод о том, что целесообразно вводить в эксплуатацию муфты такого типа.

Область применения: может стать в будущем стандартной сборочной единицей, для нефтяных насосов и компрессоров используемых в современной нефтяной промышленности.

Совокупность таких факторов как: дешевизна в изготовлении, простота монтажа, надежность, высокая демпфирующая способность приводящая к увеличению ресурса долговечности узлов агрегатов позволяет сделать вывод о том, что данная работа может быть экономически выгодной для предприятий. В будущем планируется провести стендовые испытания канатной муфты.

## Оглавление

Введение.....	12
1 Классификация муфт .....	13
1.1 Жесткие муфты.....	14
1.2 Жесткие компенсирующие муфты .....	15
1.3 Компенсирующие упругие муфты .....	18
1.4 Сцепные муфты .....	22
1.5 Муфты самоуправляемые автоматические.....	24
1.6 Муфты компенсирующие универсальные (УКМ) .....	30
1.7 Наиболее распространенные виды муфт .....	34
2 Обеспечение центровки агрегата.....	42
2.1 Компенсирующая расцентровка .....	42
2.2 Требования к соединительным муфтам.....	44
2.3 Горизонтальность установки валов.....	45
2.4 Приспособления для контроля центровки.....	45
2.5 Методика центровки агрегата .....	47
2.6 Факторы, влияющие на центровку агрегата.....	50
3 Основные характеристики насосных агрегатов .....	61
3.1 Виды нефтяных центробежных насосов.....	61
3.2 Электродвигатель СТДМ 6300 (6,0 кВ) .....	62
4. Использование канатных муфт.....	63
4.1 Технология крепления стальных канатов.....	63
5. Расчетная часть.....	65
5.1 Проверка на прочность стальных канатов.....	65
5.2 Комплекс метода конечных элементов ANSYS.....	69



5.3 Анализ НДС (напряженно-деформированное состояние) муфты канатного типа методом конечных элементов с использованием комплекса ANSYS .....	71
5.4 Анализ полученных результатов .....	74
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	77
6.1 Расчет стоимости оборудования.....	78
6.2 Расчет амортизационных отчислений оборудования.....	80
6.3 Затраты на основные материалы (Ст45) требующиеся для изготовления детали «полумуфта»: .....	81
6.4 Расчет заработной платы .....	82
6.5 Расчет страховых взносов во внебюджетные фонды .....	84
7 Социальная ответственность.....	88
7.1 Производственная безопасность.....	88
7.2 Экологическая безопасность.....	92
7.3 Защита селитебной зоны .....	93
7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94
7.5 Порывы, разливы нефти .....	94
7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	96
7.7 Особенности законодательного регулирования проектных решений.....	97
7.8 Охрана труда женщин и подростков.....	97
7.9 Работа с вредными и (или) опасными условиями труда.....	97
7.10 Работа в ночное время .....	98
7.11 Применение спецодежды и СИЗ.....	98
7.12 Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания .....	99
7.13 Надзор за охраной труда.....	99

Заключение .....	100
Список публикаций.....	101
Список использованных источников .....	102
Приложение А .....	107

## **Введение**

Российскую Федерацию можно с уверенностью назвать промышленной державой. В стране работают сотни заводов тяжелой и легкой промышленности. Отраслей, в которых развито производство огромное количество. И так или иначе, в каждой из них задействованы машины и механизмы, без которых автоматизация производства не представлялась бы возможным.

Сложно упустить из внимания тот факт, что Россия является одним из мировых передовиков по добыче и транспортировке природного газа и нефти. Имея развитую сеть газонефтепроводов, требуется соответствующе их оборудовать. В наше время большая часть машиностроительных заводов работают на нефтепромышленный комплекс. Неотъемлемой частью продукции этих предприятий можно считать машины и механизмы связанные с перекачкой жидкости и газа, такие как компрессоры и насосы. Следовательно, для приведения в работу данных механизмов требуется устройство для обеспечения кинематической связи валов. Эти устройства называются муфтами.

Основная задача муфт – соединение привода и механизма и последующая передача крутящего момента в нужном направлении вращения. Кроме того их можно использовать для предохранения узлов механизмов от повреждений, которые могут быть вызваны неточностью монтажа и воздействием вибрационных и других перегрузок, и контроля рабочего процесса как оператором так и в автоматическом режиме.

## 1 Классификация муфт

Разнообразие требований, выдвигаемых к муфтам, и разные условия их эксплуатации обусловили создание большого конструктивного колорита муфт, которые обычно классифицируют по разным признакам на группы [1].

По принципу действия:

- 1) не управляемые (постоянные) муфты, обеспечивающие постоянное соединение, и передачу момента от одного вала к другому;
- 2) управляемые муфты, позволяющие в процессе работы механизма осуществлять контроль за подачей момента на ведомый вал при помощи систем управления;
- 3) самоуправляемые муфты, автоматически выходящие из зацепления в ходе изменения заданных режимов работы механизмов [2].

По характеру работы:

- 1) глухие (жесткие) муфты, неподвижно зафиксированные между собой, вследствие чего не компенсирующие ошибки при изготовлении и монтаже оборудования;
- 2) упругие муфты, позволяющие не только компенсировать смещение валов, но так же снизить динамичность нагрузок и амортизировать колебания, возникающие при работе передач машин [3].

Группы:

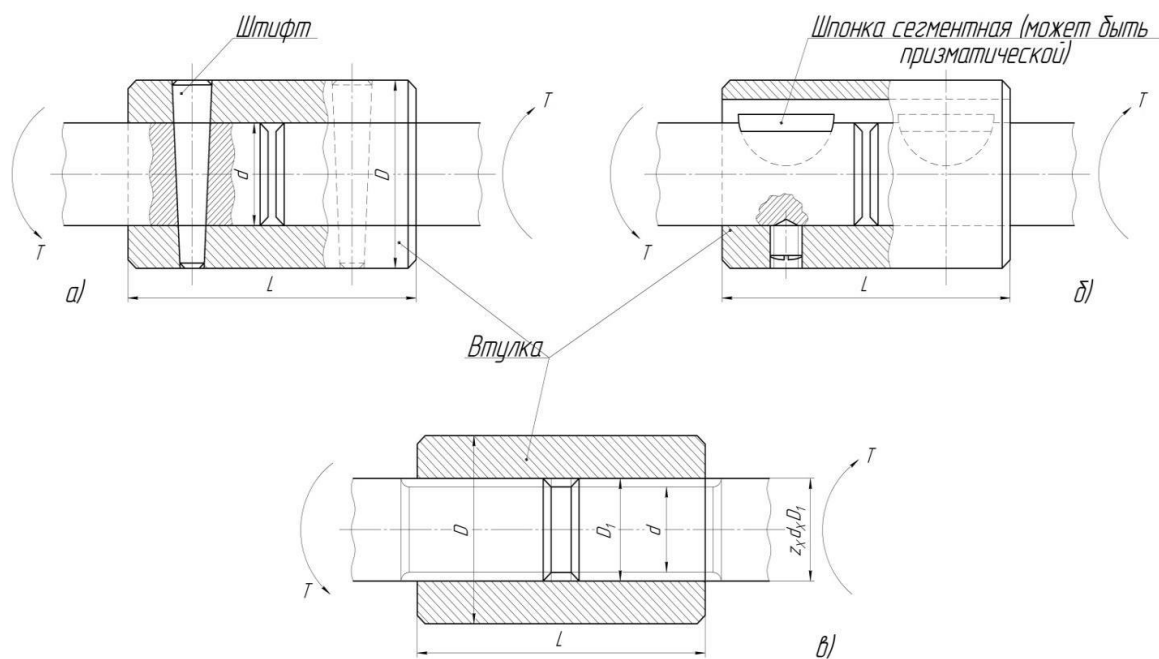
- 1) механические,
- 2) гидравлические,
- 3) электрические.

В данной работе мы будем рассматривать муфты только механического действия.

## 1.1 Жесткие муфты

Глухие муфты применяют для непрерывно-жесткого соединения валов находящихся на одной оси образуя тем самым жесткую линию. Относятся к постоянным муфтам. Они нашли применение в передачах, где происходит переменная скорость вращения в режиме частого пуска. Из разнообразия видов муфт этого рода наибольшее распространение получили фланцевые и втулочные муфты [1].

Втулочная муфта представляет собой цилиндрическую втулку, посаженную на концы валов (рисунок 1). Применяются эти муфты в основном для передачи момента на валах диаметром до 100 миллиметров, а соединение вала муфтой происходит при помощи шпонок и шлицев. Достоинством муфты является ее дешевизна и простота в изготовлении, а недостатком сложность при монтаже и демонтаже [4]. Рекомендованный материал втулки — сталь 45. Втулочную муфту выбирают по стандарту ГОСТ 24246-96 или по нормам машиностроения.



а) втулочная муфта со штифтом;

б) втулочная муфта со шпонкой;

в) общий вид втулочной муфты

Рисунок 1 — Втулочные муфты

Поперечно-свертная (фланцевая) муфта состоит из двух полумуфт посаженных на концы валов, и закрепленных между собой при помощи болтов. Полумуфты могут быть стянуты болтами с зазором или без него (рисунок 2). При установке болта без зазора крутящий момент от ведущего вала к ведомому будет передаваться за счет сил трения действующих на соприкасающиеся поверхности полумуфт, а основной нагрузкой крепежа будет растяжение. В случае, когда зазор присутствует должны быть произведены расчеты на срез, так как момент вращения передается исключительно через крепежное изделие. Достоинством этого вида муфт можно считать удобство монтажа и демонтажа, надежность и точность соединения. Передача больших крутящих моментов. Недостатком является то, что выдвигаются большие требования к соосности валов и их частей. В том числе подгонка полумуфт. Иначе будут неизбежны напряжения на изгиб вала, его радиальное биение и возрастание нагрузки на опоры. Материал полумуфт Сталь 40 и Сталь 35Л, допускается также изготовление из чугуна СЧ40. Применяют этот вид муфт на валах до 250 миллиметров и частотах вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  и больше, при условии не больших диаметров валов [1].

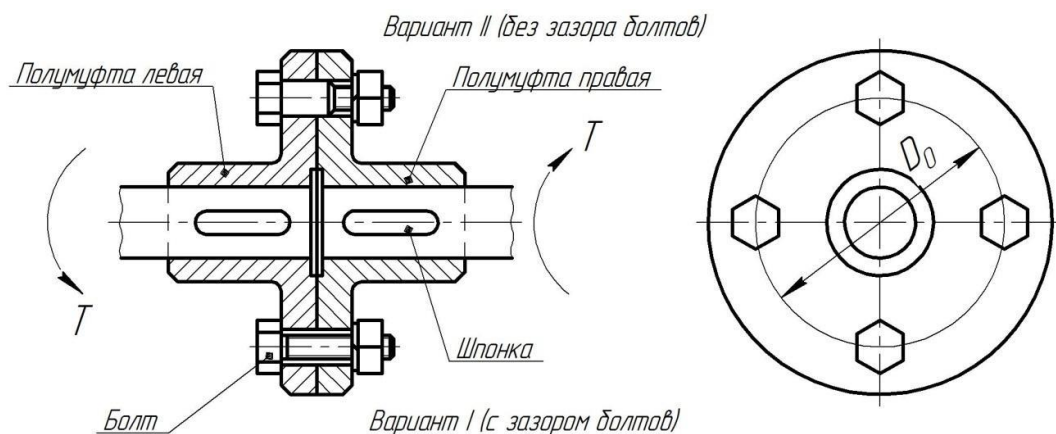


Рисунок 2 — Фланцевая муфта

## 1.2 Жесткие компенсирующие муфты

Жесткие компенсирующие муфты позволяют при соединении двух валов с компенсацией разных видов отклонений от их номинального расположения (рисунок 3а), таких как продольное смещение (рисунок 3б),

радиальное смещение (рисунок 3в), угловое смещение (рисунок 3г), комбинированное смещение (рисунок 3д). муфты данного типа приводят к соосности валов за счет подвижности жестких элементов или деформации упругих деталей. Достоинством этих муфт является уменьшение нагрузок на валы и подшипники, вызванных погрешностью в соосности валов. Наиболее распространены муфты данной группы цепных, зубчатых и шарнирных видов.

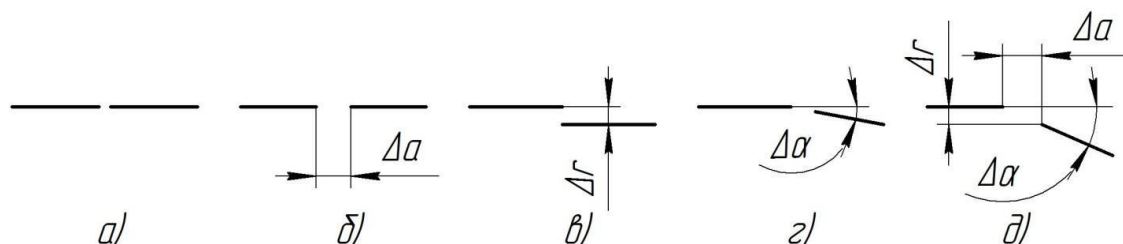


Рисунок 3 — Виды смещений валов

Зубчатые муфты применяются для соединений валов диаметром от 40 до 500 миллиметров. Муфта состоит из двух половин 1 и 2 с наружными зубьями и двух полумуфт обоймы 3 и 4 с зубьями находящимися внутри и производящими зацеп с зубьями полумуфт (рисунок 4). Зубья полумуфт и полуобойм выполняют с эвольвентным профилем [4].

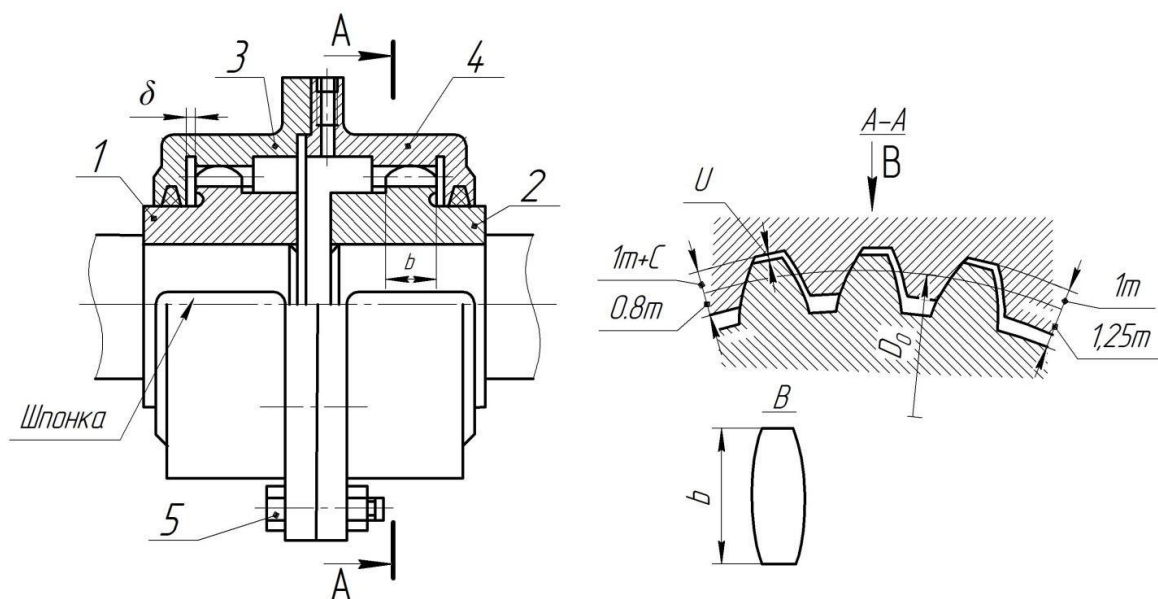


Рисунок 4 — Зубчатая муфта

Полумуфты 1 и 2 и полуобоймы 3 и 4 изготавливаются из стали 40Х, 45 или из стального литья 45Л. Валы соединяются с полумуфтами шпоночным или шлицевым соединением. Полуобоймы 3 и 4 соединяются жестко прецизионными болтами 5. Достоинства зубчатых муфт: небольшие габариты и масса; большая нагрузочная способность; высокие окружные скорости; способность компенсировать все виды несоосности валов [5].

Зубчатые муфты гасят любые погрешности в несоосности валов при помощи сферической эвольвенты зубьев.

Цепные муфты применимы в соединениях вала с диаметрами от 20 до 150 мм при передаче вращающего момента от 60 до 8000 Нм с частотой вращения 500... 1600 мин<sup>-1</sup>.

Муфта состоит из двух полумуфт (звездочек) с одинаковым числом зубьев и охватывающей их общей цепи и кожуха. Охватывающая цепь может быть однорядной или двухрядной. Достоинства цепной муфты: простота конструкции и обслуживания; надежность работы; технологичность изготовления; малые габариты и масса; удобный монтаж и демонтаж; способность компенсировать радиальных и угловых смещений валов [3].

Недостатки: наличие угловых зазоров и мертвого хода; не рекомендуются в реверсивных передачах и при динамических нагрузках.

Полумуфты изготавливаются из стали 45 и 45Л и передают крутящий момент посредством шпоночных соединений. Цепь подбирается роликовая по ГОСТ 13568 – 75 [5].

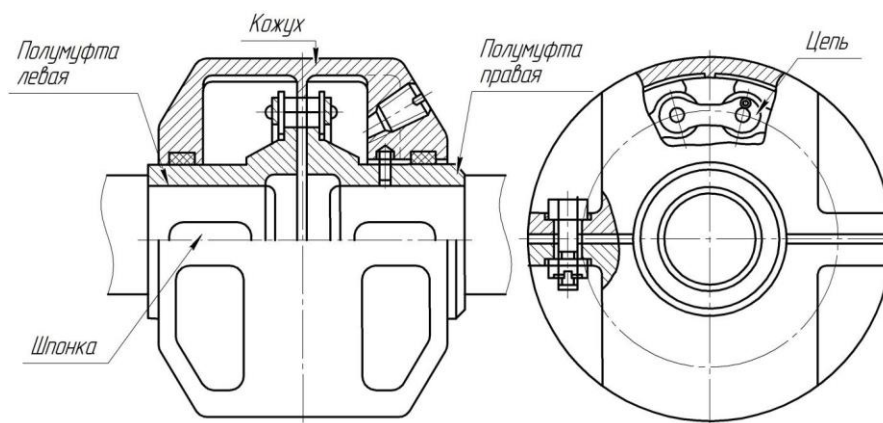


Рисунок 5 – Цепная муфта



### 1.3 Компенсирующие упругие муфты

Упругие муфты относятся к виду постоянных муфт. Основа этих муфт — упругий элемент, передающий крутящий момент от одной полумуфты к другой.

Упругие муфты служат для компенсации динамических нагрузок, а также позволяют избежать резонансных колебаний и в некоторой степени смягчить несоосность валов [1].

Основные характеристики упругих муфт — жесткость или (обратная ей величина) податливости и демпфирующая способность.

В зависимости от материала из которого изготовлена упругая муфта этот вид можно разделить на муфты с неметаллическими и металлическими упругими элементами. По исполнению муфтам данного вида присуще разнообразие. Учитывая материал изготовления их можно поделить на два вида: в исполнении с элементами из металла рисунок 7 а — г, и полимерными или резиновыми упругими элементами рисунок 6 а — г.

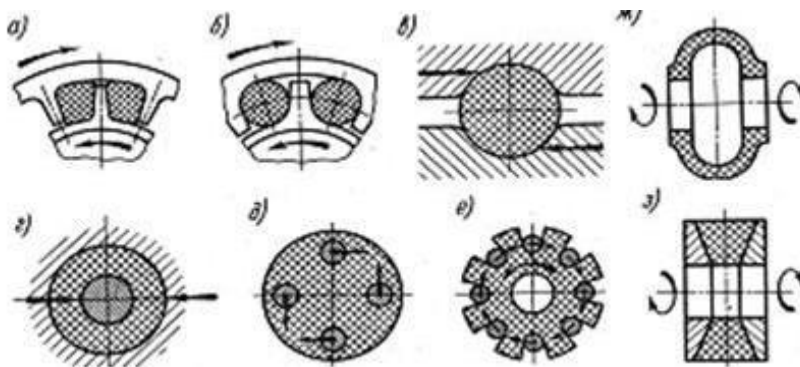


Рисунок 6 — Основные виды упругих соединительных элементов муфт

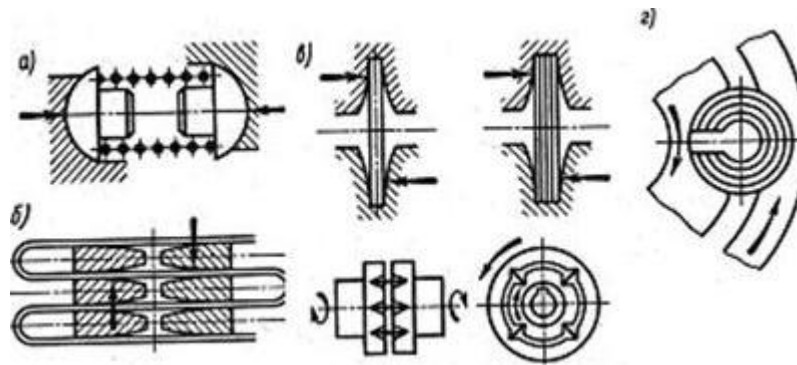


Рисунок 7 — Основные виды упругих металлических элементов муфт

Упругая муфта втулочно-пальцевая (МУВП) изготавливается из пары дисковых полумуфт 1 и 2, насаженных на концы валов 3 и 4 со шпонками 5 и 6, стальных пальцев 7, закрепленных в одной из полумуфт с посадкой на конус гайками 8; упругих резиновых втулок 9 рисунок 8. Отверстия в полумуфтах могут быть коническими. Для изготовления частей полумуфт используют материалы – чугун СЧ20, сталь 35 или 35Л, а для пальцев — сталь 45 [6].

Из-за малого диаметра резиновых частей муфта обладает низкими компенсирующими свойствами. Вследствие этого при несоосности валов долговечность резиновых втулок сильно снижается. Муфта широко используется для передачи момента в машинах с электроприводом. Достоинством является отсутствие сложности и дешевизна изготовления резиновых деталей муфты. Муфту подбирают по ГОСТ в размерности валов  $d=16...150$  мм [5].

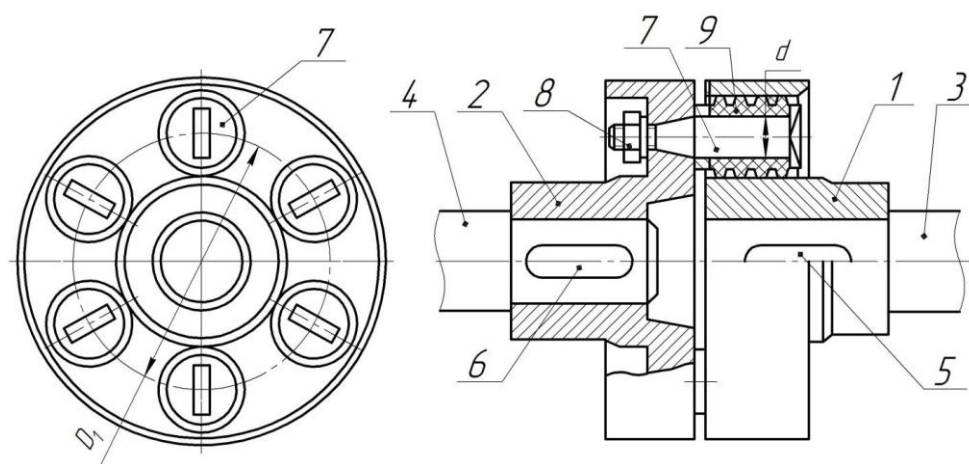


Рисунок 8 — Втулочно-пальцевая упругая муфта

Упругая муфта со звездочкой собирается (рисунок 9) из двух частей 1 и

2, и входит в зацеп при помощи торцовых кулачков и звездочки 3. Полумуфты 1 и 2 образуют с валами шпоночные или шлицевые соединения. Материал изготовления Ст 3. Размерность подбирают по нормативным таблицам. Достоинства муфты: отсутствие сложности монтажа, компенсирование несоосности, хорошие эксплуатационные характеристики. Недостатками являются: малые диаметры валов, относительно маленький передаваемый момент, размыкание валов при установке резинового элемента [6].

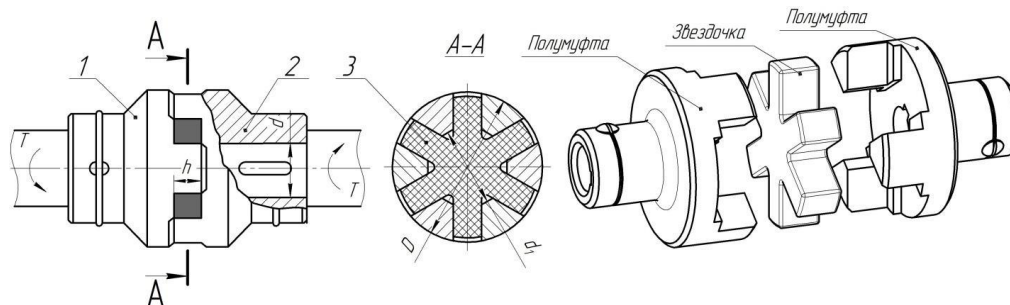


Рисунок 9 — Упругая муфта со звездочкой

Упругая муфта с торообразным демпфирующим элементом состоит из двух полумуфт 1 и 2 (рисунок 10), торообразной оболочки 3, и пары крепежных колец 4, закрепляющих при помощи крепежных изделий 5 резиновую часть. Эта муфта имеет высокие способности компенсировать радиальные и угловые смещения валов, служит защитой от шума и изолирует электрические части привода. Недостатком муфты являются ее габариты. Применима в случаях трудности в совмещении валов соосно, а так же при изменяющихся и ударных режимах эксплуатации [7].

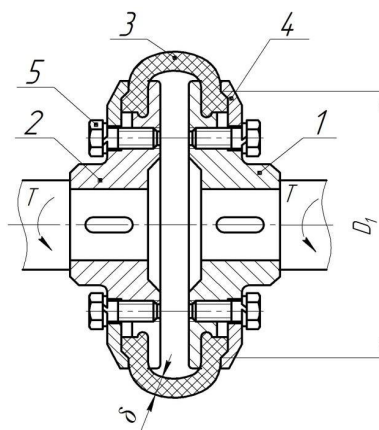


Рисунок 10 — Муфта упругая с торообразной оболочкой

Муфта с пружинами в виде цилиндров. Пример конструктивного исполнения приведен на (рисунке 11). Пружины 4 устанавливаются на пальцы сегментов 5 сжатыми, таким образом чтоб одной стороной они упирались в сегменты полумуфты 3, а другим — на сегменты полумуфты. В ходе передачи крутящего момента посадка части от всех пружин возрастает, а второй части — уменьшается. Сегменты могут качательно двигаться на пальцах 2 вследствие чего изготавливаются из износостойких полимеров или чугуновых сплавов. Осуществляя подбор пружин из сортамента, жесткость муфты может иметь большой диапазон [1].

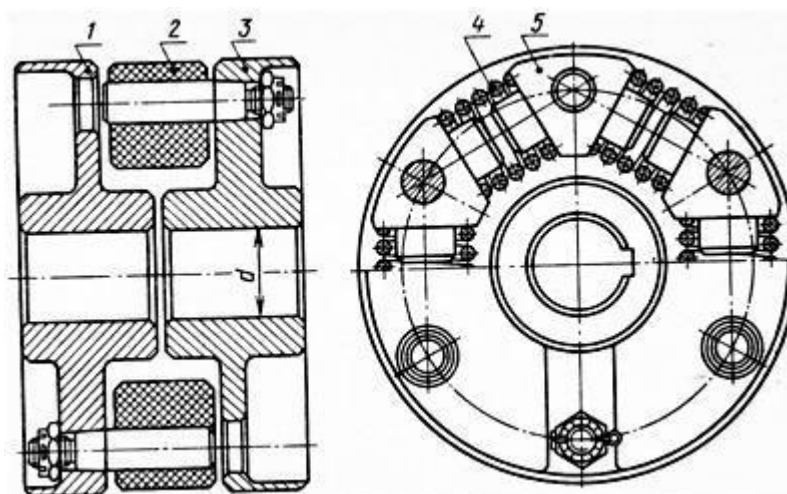


Рисунок 11 — Муфта с пружинами цилиндрической формы

Муфта зубчато-пружинная изготавливается из пары взаимозаменяемых, ведущей 3, и ведомой 4 полумуфт, снабженных зубьями, в которые вкладываются секции змеевидной пружины 4 (рисунок 12). Для осевой и радиальной фиксации пружины используются полукожухи 1 и 6, которые в свою очередь соединяются болтами 7, вкручиваемые в отверстия с резьбой, расположенные на полукожухе 1. Профилированием боковых рабочих поверхностей зубьев можно варьировать постоянную и переменную жесткость муфты при изготовлении [8]. Материал полумуфт — сталь 40 или 45Л, материал пружин — сталь 65Г. Кожух отливают из чугуна СЧ15. Достоинством данной муфты считается высокое компенсирование радиальных нагрузок, надежность и долговечность. Используется для передачи высоких крутящих моментов.

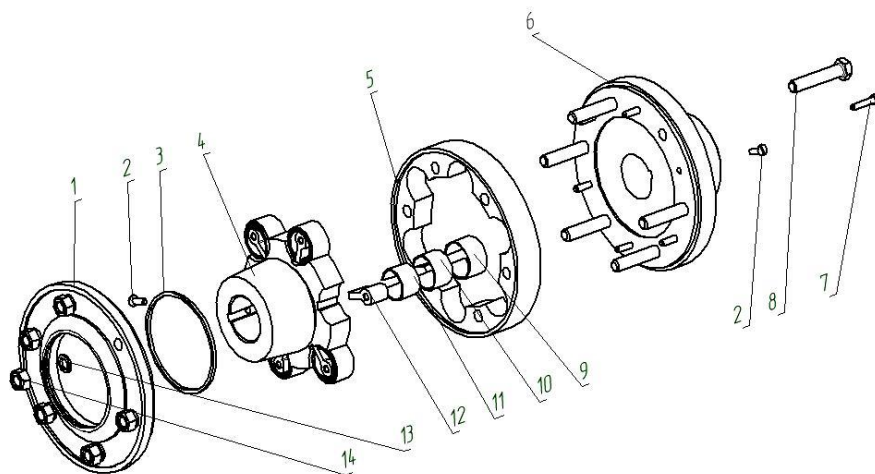


Рисунок 12 — Муфта зубчато-пружинная

#### 1.4 Сцепные муфты

Сцепные или управляемые муфты используются для зацепления и выхода из него валов при передаче крутящего момента двигателем. Их используют в механизмах с необходимостью изменения режимов работы, таких как коробки передач [6]. Применяются при строгой соосности валов. Передача крутящего момента осуществляется по средствам зацепления, в случае кулачковых или зубчатых муфт, или при помощи сил трения в фрикционных муфтах. Главным критерием для сцепных муфт является простота и скорость включения при помощи незначительного усилия, кроме того они не должны нагреваться и быть достаточно надежными при постоянных переключениях [7].

Муфты кулачковые изготавливаются из пары полумуфт 1 и 2 на которых расположены специальные выступы (кулачки) 4, в ходе зацепления которых и передается крутящий момент (рисунок 13). Втулка 5 используется для центрации валов. Полумуфта 1 неподвижна, а полумуфта 2 в свою очередь перемещается в пазу 3 [2].

Достоинствами кулачковых полумуфт являются: простота, малые габариты и отсутствие относительного поворота соединяемых валов. Недостатками являются: отсутствие плавности включения и выключения (включение и выключение муфты при относительном вращении валов вызывают удары); точное центрирование валов. Размеры муфт принимают по таблицам нормалей машиностроения [1].

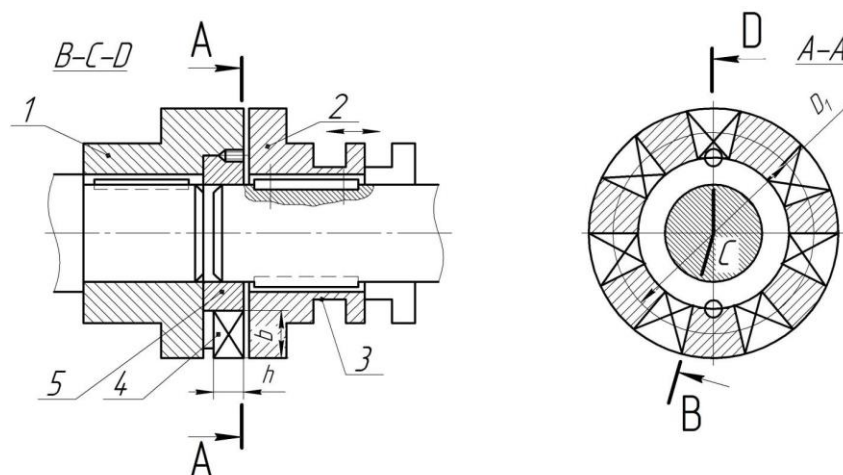


Рисунок 13 — Кулачковая муфта

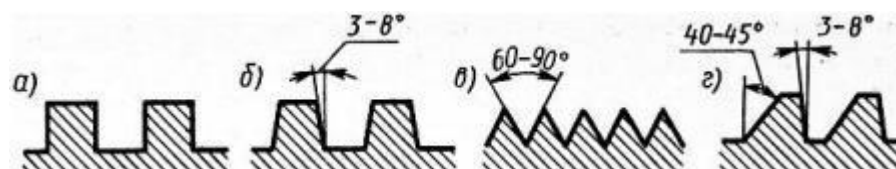


Рисунок 14 — Профили кулачков муфт сцепления

Муфты фрикционные управляемые используются для постепенной передачи момента на валы в ходе действия нагрузки при наличии вращения валов. В муфтах фрикционных передача крутящего момента от одного вала к другому происходит за счет сил трения. Из управляемых механических муфт они наиболее распространены. По форме рабочих поверхностей различают цилиндрические, конические, дисковые (Рисунок 15). Достоинства: плавное включение и выключение; предохранительные свойства. Недостатки: непригодность в тех случаях, когда требуется строгое совпадение угловых скоростей соединяемых валов [9].

Однодисковая муфта применяется относительно редко, материал рабочих деталей (полумуфты) сталь 45, 40Х или чугун СЧ35 (чугун по чугуну или чугун по закаленной стали). Одна полумуфта 1 на валу неподвижна, вторая полумуфта 2 имеет осевые перемещение для прижатия к первой полумуфте с силой. (Рисунок 15а). Конические фрикционные муфты отличаются той особенностью, что при прочих равных условиях требуют меньших усилий

прижатия, но требуют высокой точности соосности валов. От действия силы на коническую поверхность возникают силы трения, которые обеспечивают передачу крутящего момента (Рисунок 15б) [8]. Многодисковая фрикционная муфта нашла широкое распространение, особенно в станкостроении. Она состоит из двух неподвижных полумуфт 1 и 9, нескольких наружных 3 и внутренних 4 дисков, двух упорных колец 2 и 5, упорных гаек 6, механизма включения муфты и подвижной втулки 8. Наружные диски соединяются с полумуфтой 1, а внутренние 4 – с полумуфтой 9. При включении муфты между дисками образуются силы трения, которые способствуют передаче крутящего момента от одной полумуфты к другой (Рисунок 15в). Основные размеры многодисковых муфт принимают по таблицам нормали машиностроения МН 5664 – 65 [3].

Имеются муфты с электромагнитным, гидравлическим, пневматическим и механическим управлением. На (Рисунке 15в) показана многодисковая муфта с механическим управлением. Передвигая втулку 8 налево, рычажная система 7 механизма включения зажимает диски и полумуфты 1 и 9 включаются и передают крутящий момент от вала 10 на вал 11 или наоборот [7].

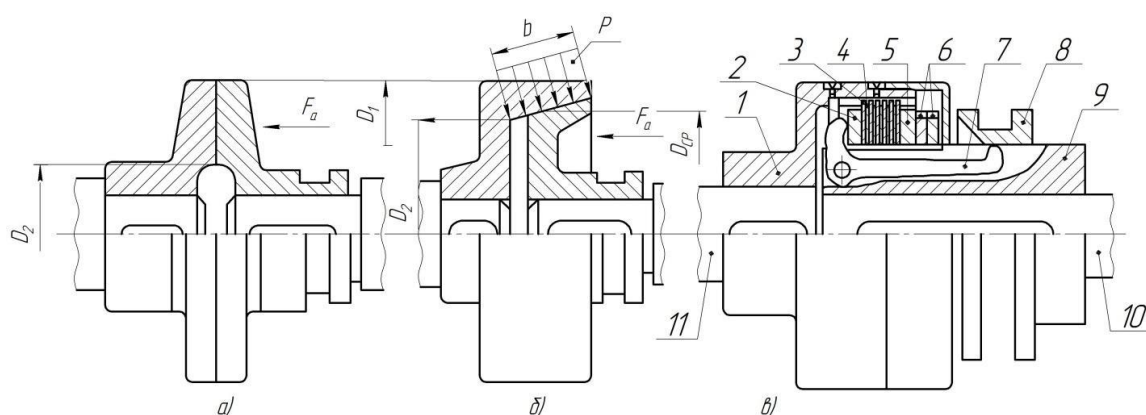


Рисунок 15 — Виды фрикционных управляемых муфт

### 1.5 Муфты самоуправяемые автоматические

Муфты данного типа обычно используются для приведения в зацеп и выведения из него валов машин в случаях изменения расчетного режима работы



механизма, без участия оператора. Различают следующие механические муфты: предохранительные для защиты машин от перегрузок; обгонные (муфты свободного хода) для передачи момента только в одном направлении; центробежные для автоматического включения или выключения при определенной частоте вращения ведущего вала [8].

Муфты свободного хода или обгонные, используются при передачах крутящей силы в единственном направлении движения. Эти муфты автоматически сцепляют и расцепляют валы в зависимости от соотношения частоты вращения валов. На (рисунке 17) показана наиболее распространенная муфта свободного хода – обгонная фрикционная с роликами. Обгонная муфта (муфта свободного хода) состоит из двух полумуфт – звездочки 1 и обоймы 2 – роликов 3, расположенных в пазах между звездочкой и обоймой. Каждый ролик отжимается пружиной 4 в сужающуюся часть паза. Если ведущая полумуфта – звездочка, то сцепление валов может происходить только при вращении ее по часовой стрелке, а если ведущей является обойма, то крутящий момент передается через шпонку 5 звездочке, когда обойма вращается против часовой стрелки. Щеки 6 в форме шайб не дают роликам выпасть из обоймы. Размеры муфты принимают по нормам машиностроения МН 3 – 61. Основопологающий факторор для работы роликового вида муфт выражается в контактной прочности рабочих поверхностей роликов и полумуфт [4].



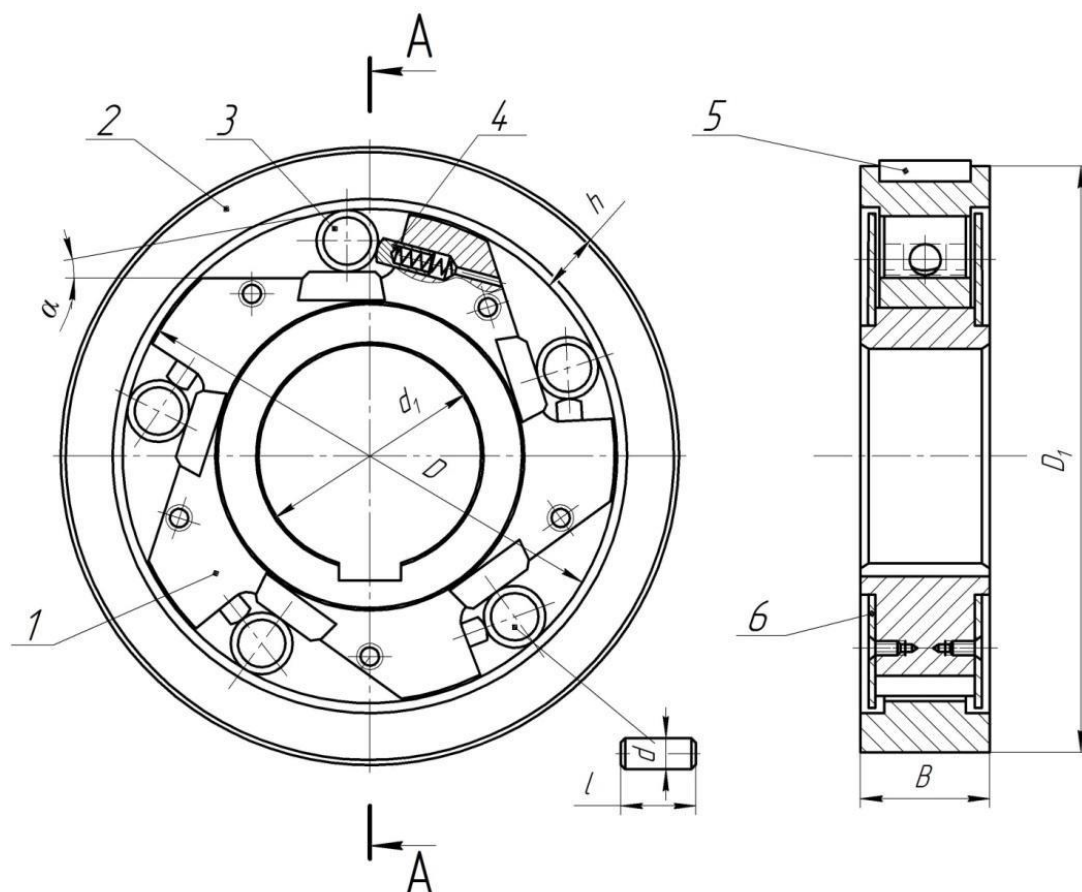


Рисунок 17 — Муфта свободного хода (МН – 61)

Центробежные муфты служат для автоматического включения и выключения муфты при определенных угловых скоростях за счет действия центробежных сил. В технике встречаются муфты различной конструкции. Рассмотрим пример простейшей центробежной муфты (рисунок 18). Полумуфты 1 и 2 установлены на ведущем и ведомом валах (на рисунке валы не показаны) и с помощью шпонок передают крутящий момент полумуфтам посредством колодок 3 с фрикционными накладками 4. При определенной угловой скорости на колодку действуют центробежная сила и сила тяжести колодки. Сцепление колодок, находящихся на полумуфте 1, с полумуфтой 2 может быть при условии что центробежная сила больше силы тяжести колодки. Муфты эти автоматически соединяют валы, когда угловая скорость превысит некоторое заданное значение [10]. Поэтому они являются самоуправляемые по угловой скорости. При достижении ведущим валом определенной частоты вращения центробежные силы, действуют на колодку,

преодолевают силы тяжести и прижимают эти колодки к другой полумуфте; в результате чего полумуфты и соединяемые ими валы сцепляются и передают крутящий момент. По устройству центробежные муфты представляют собой фрикционные муфты, у которых механизмом управления служат грузы – колодки (рисунок 18), находящиеся под действием центробежных сил. Размерность муфты подбирают исходя из конструкции машины [1].

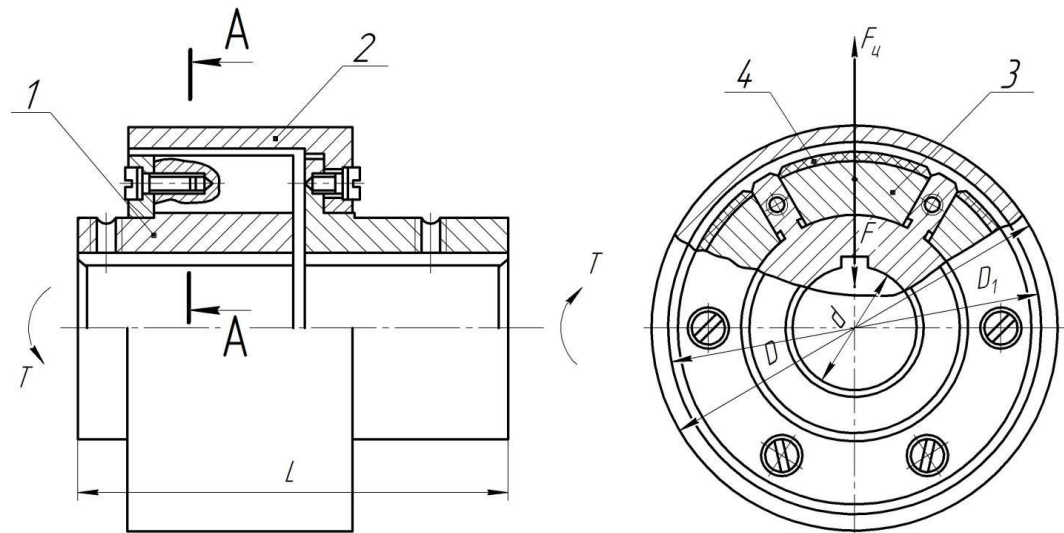


Рисунок 18 — Конструкция простейшей центробежной муфты

Муфты предохранительные используются для изоляции механических частей агрегатов и машин от чрезмерных перегрузок.

Обычно муфты располагают в непосредственной близости к местам с наибольшей вероятностью избыточных напряжений при условии максимального соблюдения соосности соединяемых элементов [10].

Предохранительные муфты подразделяются на муфты с разрушаемым и не разрушаемыми элементами, а так же по принципу работы данные изделия можно разделить на предохранительные кулачковые, муфты со срезными штифтами и муфты предохранительные шариковые и фрикционные (рисунок 19). Муфта со срезными штифтами (рисунок 19а) состоит из двух дисковых полумуфт 1 и 2, которые соединены между собой стальными штифтами 3. Штифты заключены в стальные каленые втулки 4. Достоинства: простота

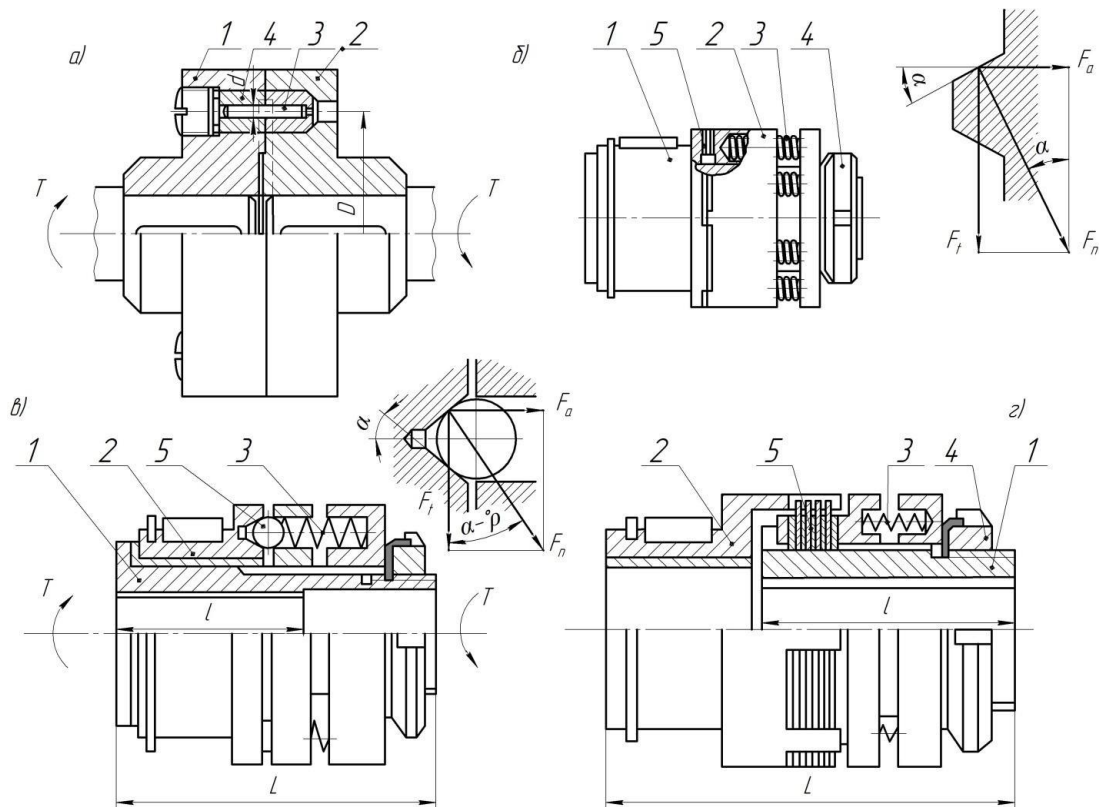
конструкции и небольшие габариты. Недостатки: невысокая точность срабатывания; постепенное снижение прочности штифта из-за усталостных напряжений; необходимость замены штифтами после срабатывания; строгая центровка валов. Выбранную по таблицам нормалей муфту проверяют на работоспособность: определяют возможный крутящий момент или необходимый диаметр штифта. Муфты рекомендуются при малых вероятностях больших перегрузок [11].

Муфта предохранительная кулачковая (рисунок 19б) состоит из полумуфт 1 и 2, которые входят в зацепление с помощью кулачков 5 на торцах полумуфт (кулачки трапецеидальной формы с углом профиля  $\alpha=40^\circ$ ). Полумуфта 2 постоянно прижата к первой путем прижатия нескольких пружин 3. Сила прижатия регулируется гайкой 4. При передаче крутящего момента действует окружное усилие стремящееся раздвинуть полумуфты (выключить муфту). Эта сила должна уравниваться силой прижатия пружин 3. В соответствии с силой подбирают пружины 3, осадку их регулируют гайкой 4.

Недостатком предохранительных кулачковых муфт является большой шум при перегрузках (удары кулачков). Поэтому при высокой частоте вращения такие муфты не рекомендуются [15].

Муфты предохранительные шариковые (рисунок 19в) и фрикционные дисковые (рисунок 19г) работают аналогично кулачковым с той разницей, что их соединение полумуфты 1 и 2 происходит шариками и дисками фрикционными 5. Постоянное прижатие полумуфт обеспечивается пружинами 3. Необходимое усилие прижатия осуществляется сжатием пружин гайками 4.

В шариковых муфтах трение скольжения в кулачковых муфтах заменено трением качения на шариках, эти муфты проще в изготовлении, более надежны в работе [12].



- а) – муфта с разрушающимся элементом (нормаль Р95 – 1);  
 б) – муфта предохранительная кулачковая (ГОСТ 15620);  
 в) – муфта предохранительная шариковая (ГОСТ 15621);  
 г) – муфта предохранительная кулачковая (ГОСТ 15622)

Рисунок 19 — Предохранительные муфты

Предохранительные фрикционные муфты выделяются многообразием исполнений. Обычно их используют при кратковременных чрезмерных нагрузках большое количество раз. По конструктивным элементам этот вид (рисунок 20) имеет непосредственное родство со сцепными фрикционными муфтами. В фрикционных предохранительных муфтах крутящий момент передается за счет сил трения. Режим работы регулируется силой зажатия дисков за счет пружин сжатия 3 (рисунок 19г) [14]. Упругие элементы имеют возможность настройки по причине изнашивания плоскостей соприкосновения в которых происходит трение, так как из-за этого уменьшается сила сжатия пружинных элементов. Пружины периодически регулируют, так как по мере износа поверхностей трения диски сближаются, уменьшая силу сжатия пружин.

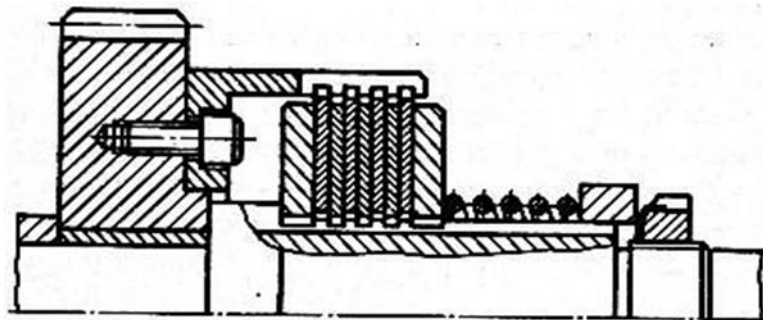


Рисунок 20 — Многодисковая фрикционная предохранительная муфта

Спользование комбинированных муфт в машиностроении обусловлено тем фактом, что зачастую муфты одного вида не могут справиться со всеми нагрузками, которые приходится на валы. В этом случае муфты комбинируют, составляя из конструкционных элементов разных муфт одну. Вариативность такого вида муфт имеет большое количество видов. Чаще всего встречаются комбинации компенсирующих упругих муфт, с предохраняющими муфтами (рисунок 21) [11].

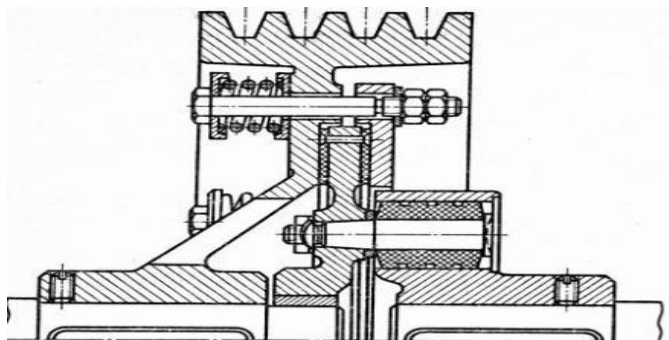


Рисунок 21 — Комбинированная упруго-предохранительная фрикционная муфта

### 1.6 Муфты компенсирующие универсальные (УКМ)

Муфты универсальные (рисунок 22) с упругими элементами дисковой формы используются для приведения в движение ведомого вала крутящими моментами 0,16... 25 кНм. Воизбежание нагрузок динамического вида при передаче крутящего момента на валы насосов и используемых в нефтяной промышленности и электроэнергетике. Отсутствие люфтового зазора в данном виде муфт обуславливается наличием большого количества слоев

наборов пластин, играющих роль упругих частей муфты. Они обладают хорошими показателями демпфирующих способностей в виду нелинейности показателя их жесткости, за счет чего отлично демпфируют вибронагрузки на агрегаты [10].

Упругие элементы муфты производятся из листов стальных нержавеющей сталей или полимерных материалов, обладают высоким коэффициентом упругости и возможностью гашения вибраций возникающих в процессе эксплуатации. Исходя из этого, УКМ имеет обширный допуск к несоосности валов, без увелешений вибрационных или шумовых показателей. Расчетный срок службы УКМ 10 – 15 лет. Она не требует смазки и технического обслуживания в течение всего срока эксплуатации. При применении в соединениях валов муфты упругой компенсирующей УКМ показатели вибрации падают, соответственно срок службы узлов агрегатов, страдающих от перегрузок, увеличивается двукратно [13].

Муфта допускает радиальную расцентровку валов до  $\pm 0,4$  мм, перекос осей  $2^\circ$ , компенсацию осевых смещений до  $\pm 4$  мм. УКМ не требует обслуживания в течение установленного ресурса. Расчетный срок службы УКМ – 20 лет. Муфты балансируются по специальной технологии и имеют низкую собственную виброактивность. Серийное производство муфт для агрегатов мощностью до 12500 кВт освоено на заводе в Башкортостане.



Рисунок 22 — Общий вид УКМ

В упругих пластинчатых муфтах вращающий момент передается через пакеты, состоящие из пластин стальной коррозионностойкой ленты толщиной 0,2 – 1,0 мм. Форма пластин — в виде диска, мембраны (дисковая муфта), в виде кольца (кольцевая муфта). Обычно два упругих пакета соединены с двумя полумуфтами и проставкой при помощи болтов и втулок [16]. В кольцевой муфте вращающий момент передается за счет растяжения – сжатия ветвей упругого элемента между поочередно расположенными призонными болтами полумуфты и проставки. В дисковой — аналогично, но болты полумуфт и проставки расположены на разных диаметрах. Каждый пакет упругих элементов является также жестким в радиальном направлении и обладает податливостью только в угловом и осевом направлении. Два пакета, объединенные проставкой, могут компенсировать осевые, угловые и радиальные смещения. Упругий элемент любого типа является жестким на кручение и не компенсирует крутильных колебаний валов. Все детали муфты соединены между собой жестко [15]. Таким образом, муфта компенсирует все виды смещений соединяемых валов исключительно за счет упругих деформаций пакетов.

Особенности монтажа упругих пластинчатых муфт связаны с ограниченным допускаемым осевым смещением. При первоначальном монтаже необходимо обеспечить правильное осевое положение полумуфт, при котором упругие элементы не деформированы (т.е., выдержать расстояние  $L$ ). Для этого роторы двигателя и насоса с полумуфтой устанавливают в рабочее положение (двигатель с подшипниками скольжения — по метке или по результатам холостого пуска, в насосах с гидропяткой смещают ротор так, чтобы гидропятка закрылась). Замеряют расстояние между торцом вала двигателя и торцом полумуфты насоса  $L_1$ . Затем вычисляют положение полумуфты двигателя и устанавливают ее, фиксируя на валу. Чаще всего, прикрепляют к шпонке при помощи винтов. Иногда, для подгонки осевого размера в конструкцию муфты вводят компенсирующий элемент в виде дистанционного кольца [12]. Другая особенность эксплуатации связана с малыми силами реакции на смещения

валов. При расцентровках, в несколько раз превышающих предельно допускаемые, упругие пластинчатые муфты не только не вызывают повышенных вибраций и шума, но и не позволяют диагностировать расцентровку при помощи аппаратуры. Поэтому центровку валов агрегата необходимо периодически контролировать обычным механическим способом [11].

Опасность возникает при разрушении пакетов упругих элементов. Первая — возможность "вылета" достаточно массивной проставки. Не во всех конструкциях выпускаемых в настоящее время упругих пластинчатых муфт предусмотрены резервные конструктивные элементы, обеспечивающие центровку частей муфты при разрушении упругих элементов, как это оговорено ISO/CD 13709/API 610. Отделившаяся со стороны приводимой машины проставка продолжает некоторое время вращаться вместе с валом двигателя и представляет немалую опасность как для персонала, так и для агрегата. Кроме того, при разрушении упругих элементов происходит соударение или трение частей муфты. Поэтому при эксплуатации во взрывоопасных зонах для тех деталей, которые могут войти в контакт при разрушении упругих элементов, должны применяться материалы, соударение которых не приводит к образованию искр. Применяют бронзу, монель – металл, никель.

В сравнении с зубчатыми и втулочно-пальцевыми муфтами пластинчатые муфты позволяют:

- значительно снизить уровень вибрации;
- повысить ресурс опор и концевых уплотнений насосов и компрессоров;
- обеспечить возможность осевых перемещений роторов соединяемых механизмов, стремящихся занять рабочее положение
- при пуске (совмещение магнитных осей ротора и статора электродвигателя, установление рабочего зазора в гидропате);
- исключить подвод смазки и техобслуживание.



## 1.7 Наиболее распространенные виды муфт

*Жесткие компенсирующие муфты* предназначены для соединения валов с небольшими взаимными смещениями осей, вызываемые неточностью изготовления деталей муфты и монтажа. На практике чаще всего встречается комбинированное смещение валов, которое принято называть «несоосность валов». В отличие от глухих муфт, которые приводят к соосности валы путем деформирования валов и опор (валы и опоры дополнительно нагружаются), компенсирующие муфты приводят валы к соосности за счет подвижности жестких деталей (компенсирующие жесткие муфты) или за счет деформации упругих элементов (упругие муфты) [16].

*Муфты кулачково – дисковые* (муфта крестовая, муфта Ольдгена, муфта плавающая) (рисунок 23) применяются для соединения валов со значительным радиальным смещением, допускают также незначительные угловые отклонения и осевые смещения. Эти муфты изготавливают двух типов: кулачковая дисковая (рисунок 23а) и муфты с вкладышем (рисунок 23б). Муфты состоят из полумуфт 1 и 2, диска 3 или вкладыша 3. На рисунке 23 показан для кулачково – дисковой муфты кожух 4, а для муфты с вкладышем показано резьбовое отверстие 4 для смазки. Полумуфты и диск изготавливают из стали Ст 3, Ст 4, Ст 5. Вкладыш муфты изготавливают обычно из текстолита [1].

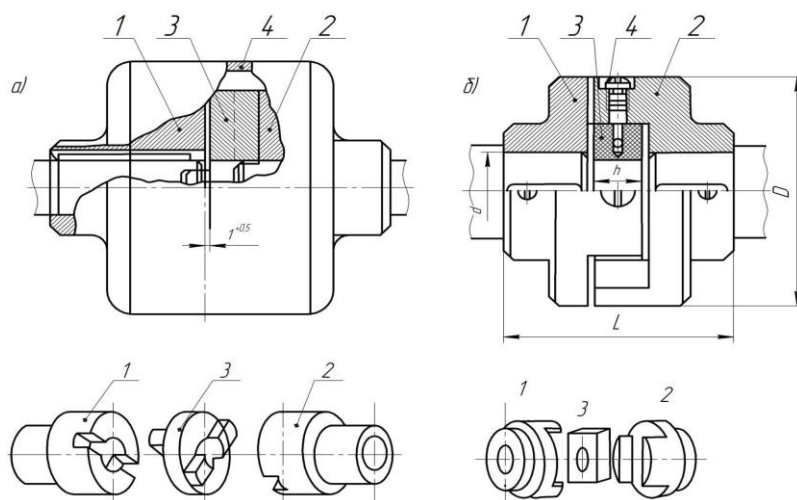


Рисунок 23 — Крестовая компенсирующая муфта

Проверочные расчет на прочность крестовых (кулачково – дисковых муфт) рекомендуется производить по максимальному давлению на рабочих поверхностях сопряженных деталей муфты [19].

$$P_{\max} = \frac{8TK_p}{D^2h} \leq [P] \quad (1)$$

$T$  – передаваемый крутящий момент, Нмм;

$K_p$  – коэффициент режима работы;

$D$  – наружный диаметр муфты, мм;

$H$  – рабочая высота выступов диска, мм;

$[P]$  – допускаемое давление на рабочих поверхностях муфты,

$[P] = 15 \dots 25 \text{ МПа}$  (плавающий диск стальной);

$[P] = 8 \dots 10 \text{ МПа}$  (плавающий диск текстолитовый).

Полумуфты и диск изготавливают из стали Ст 3, Ст 4, Ст 5. Вкладыш муфты изготавливают обычно из текстолита.

Достоинство крестовых муфт (с диском и вкладышем): способность компенсировать радиальные смещения валов.

Недостаток муфт: значительный износ рабочих поверхностей, наличие центробежной силы на диск или вкладыш [19].

*Зубчатые муфты* применяются для соединения валов диаметром от 40 до 500 мм. Муфта состоит из двух полумуфт 1 и 2 с наружными зубьями и двух половин обоймы 3 и 4 с внутренними зубьями, сцепляющимися с зубьями полумуфт (рисунок 24). Зубья полумуфт и полуобойм выполняют с эвольвентным профилем [1].

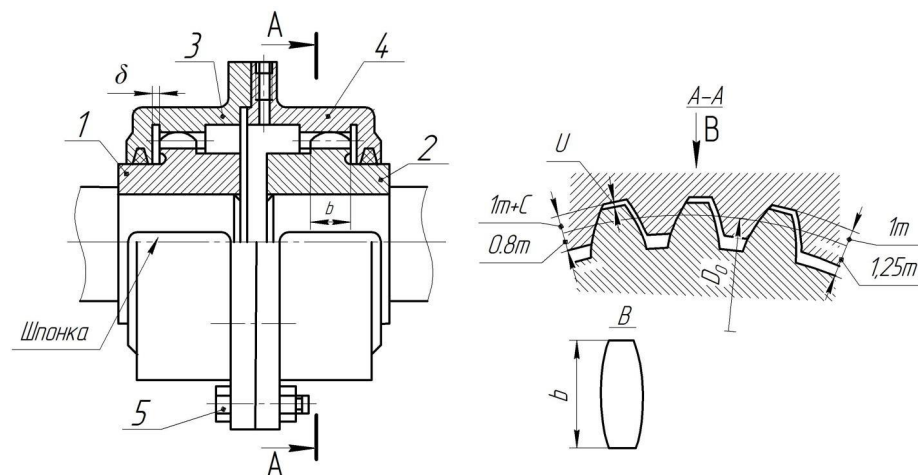


Рисунок 24 — Муфта зубчатая

Полумуфты 1 и 2 и полуобоймы 3 и 4 изготавливаются из стали 40Х, 45 или из стального литья 45Л. Валы соединяются с полумуфтами шпоночным или шлицевым соединением. Полуобоймы 3 и 4 соединяются жестко прецизионными болтами 5 [17].

Достоинства зубчатых муфт: небольшие габариты и масса; большая нагрузочная способность; высокие окружные скорости; способность компенсировать все виды несоосности валов. Основным критерием работоспособности зубчатой муфты является износ рабочих поверхностей зубьев. Поэтому ориентировочный проверочный расчет муфт производят по напряжениям смятия [12].

*Муфты компенсирующие упругие* служат для уменьшения динамических нагрузок и предохраняют соединения валов от резонансных колебаний и позволяют несколько компенсировать несоосность валов. Основные характеристики упругих муфт: податливость и демпфирующая способность за счет использования в них упругих элементов. По материалу упругих муфт они делятся на муфты с неметаллическими и металлическими упругими элементами. Основной материал неметаллических элементов – резина, а металлических элементов – различные стальные пружины [11].

*Муфта с торообразными оболочками* (рисунок 25) состоит из двух полумуфт 1 и 2, торообразной оболочки 3, двух колец 4, которые с помощью

винтов 5 закрепляют оболочку на полумуфтах. Материал полумуфт Ст 3 или чугун СЧ 40, оболочка – резина. Диаметры валов  $d = 14 \dots 240 \text{ мм}$ . Крутящий момент  $T = 20 - 40 \cdot 10^3 \text{ Нм}$ .

Достоинствами такого рода муфт являются высокие способности компенсировать смещения валов [18].

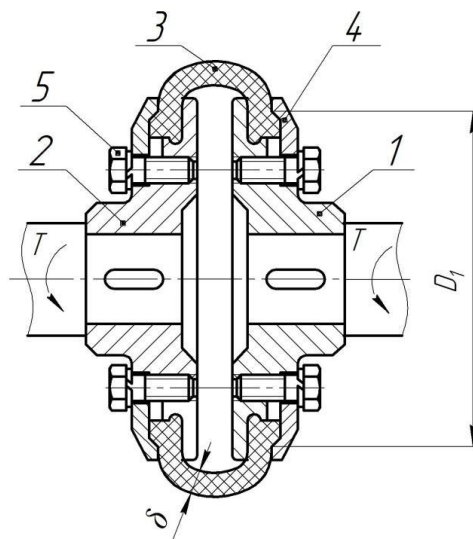


Рисунок 25 — Муфта с торообразными оболочками (ГОСТ 20884 – 82)

Проверочный расчет производят на срез оболочки у зажима

$$\tau_{cp} = \frac{2TK_p}{\pi D_1^2 \delta} \leq [\tau_{cp}] \quad (2)$$

Где  $T$  – передаваемый крутящий момент  $\text{Нм}$ ,  $K_p$  – коэффициент режима работы  $[\tau_{cp}] = 0,4 \dots 0,5 \text{ МПа}$ .

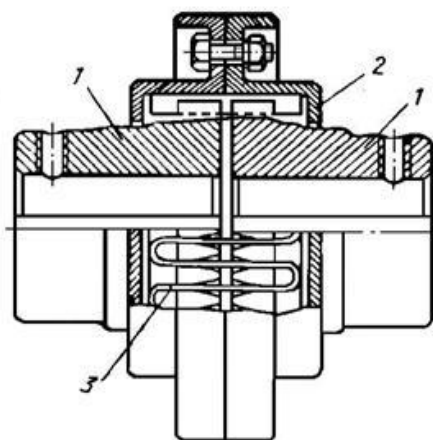


Рисунок 26 — Муфта со змеевидными пружинами

*Муфта со змеевидными пружинами* используется для передачи больших вращающих моментов, обладает хорошими эксплуатационными качествами, имеет небольшие габариты, но сравнительно дорогостоящая.

В зависимости от размеров муфты могут компенсировать радиальные смещения валов 0,5...3 мм, осевые 4...20 мм и угловые до 1°15'.

Материалы полумуфт – сталь 45, стальное литье 45Л; пружин – пружинные стали 65Г, 60С2 [2].

Расчет муфты предусматривает проверку прочности пружины при изгибе методами сопротивления материалов.

*Управляемые (сцепные) муфты* позволяют соединять и разъединять валы без остановки двигателя. По конструкции управляемые муфты можно разделить на кулачковые, зубчатые, основанные на зацеплении, и фрикционные, основанные на трении.

*Муфта кулачковая двусторонняя*, как все муфты служит для передачи крутящего момента и кроме этого, имея возможность переключения муфты 1 с кулачками 2 влево или в право, получать на валу рабочей машины две скорости вращения и два крутящих момента (рисунок 27). Муфты соединяются с валом 2 шпоночным соединением (шпонка направляющая) или шлицевым соединением.

Зубчатые колеса 4 и 5 с кулачками на торцах обеспечивают изменение режима работы рабочей машины. Осевому перемещению зубчатых колес препятствуют пружинные упорные кольца 6 и 7. Материал муфты и кулачков стали цементируемые 20, 20Х или нецементируемые 40, 45, 40Х (HRC 50...60) [3].

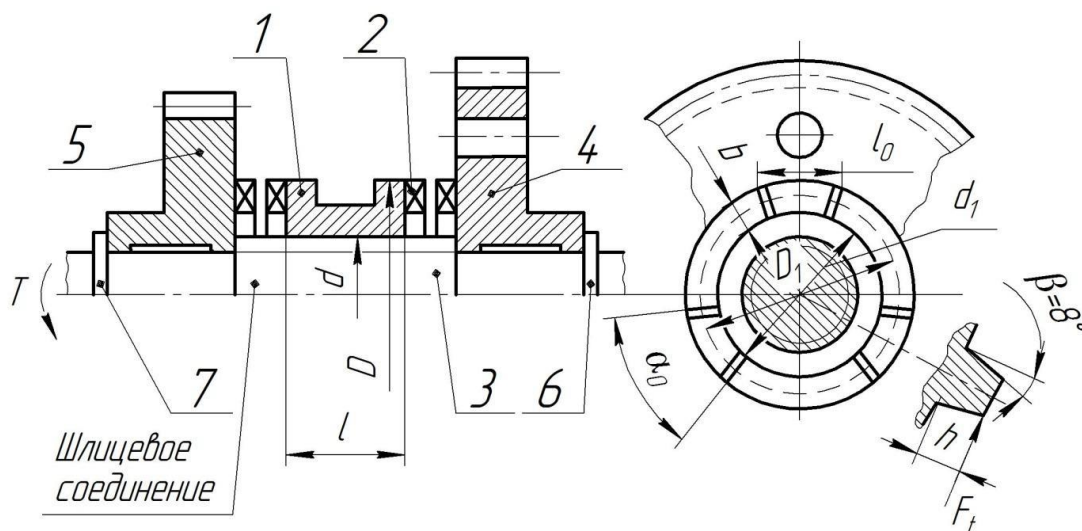


Рисунок 27 — Кулачковая муфта

Проверочные расчеты производят для обеспечения работоспособности муфты по удельному давлению «Р» на рабочих поверхностях кулачков и по напряжениям изгиба кулачка  $[\sigma]_{из}$ .

$$P = \frac{2TK_p K_1}{zD_1 b h} \leq [P] \quad (3);$$

$$\sigma_{из} = \frac{12TK_p K_1}{zD_1 b l_0^2} \leq [\sigma]_{из} \quad (4).$$

Где  $T$  – передаваемый крутящий момент, Нмм,  $K_p$  – коэффициент режима работы,  $K_1$  – коэффициент неравномерности нагрузки по кулачкам  $K_1 = 2 \dots 3$ ,  $z$  – число кулачков  $z = 3 \dots 8$ ,  $[\sigma]_{из}$ ,  $[P]$  – допускаемые значения давления и напряжения изгиба материала кулачков;

$[\sigma]_{из} = [P] = 30 \dots 40 \text{ МПа}$  (переключение на ходу при малых оборотах),  $[\sigma]_{из} = [P] = 80 \dots 120 \text{ МПа}$  (переключение при остановке вращения вала) [20].

*Муфты самоуправляемые* или автоматические предназначены для автоматического разъединения или соединения валов. Различают следующие механические муфты: предохранительные для защиты машин от перегрузок; обгонные (муфты свободного хода) для передачи момента только в одном направлении; центробежные для автоматического включения или выключения при определенной частоте вращения ведущего вала [18].

Муфты свободного хода (самоуправляемые по направлению вращения) автоматически сцепляют и расцепляют валы в зависимости от соотношения частоты вращения валов. На рисунке 28 показана наиболее распространённая муфта свободного хода – обгонная фрикционная с роликами. Обгонная муфта (муфта свободного хода) состоит из двух полумуфт – звездочки 1 и обоймы 2 – роликов 3, расположенных в пазах между звездочкой и обоймой. Каждый ролик отжимается пружиной 4 в сужающуюся часть паза. Если ведущая полумуфта – звездочка, то сцепление валов может происходить только при вращении ее по часовой стрелке, а если ведущей является обойма, то крутящий момент передается через шпонку 5 звездочке, когда обойма вращается против часовой стрелки. Щеки 6 в форме шайб не дают роликам выпасть из обоймы [29].

Размеры муфты принимают по нормали машиностроения МН 3 – 61, которые имеют ориентировочно следующие значения.

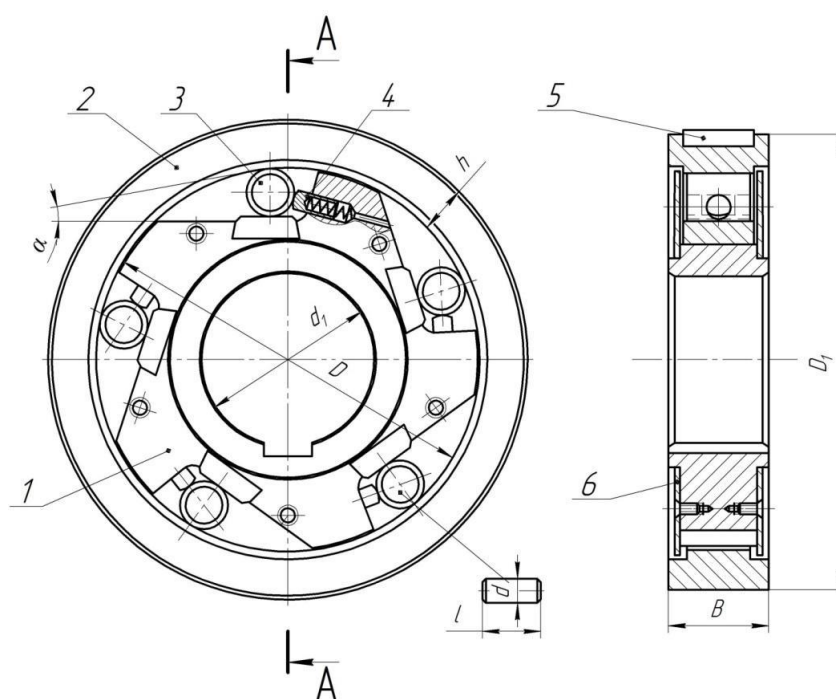


Рисунок 28 — Муфта свободного хода (МН 3 – 61)

Размеры муфты принимают по нормали машиностроения МН 3 – 61, которые имеют ориентировочно следующие значения:

Диаметр ролика  $d \approx 0,59 \sqrt[3]{\frac{TK_p}{z}} (5)$ , здесь  $T$  — передаваемый крутящий момент,  $z$  — число роликов ( $z = 3 \dots 8$ ); диаметр внутренней обоймы  $D = 8d$ ; толщина обоймы  $h = (0,12 \dots 0,20)D$ ;  $D = D + 2h$ ; длина ролика  $l = 1,5d$ ; диаметр вала « $d$ » — из расчета вала;  $B = (0,25 \dots 0,3)D$ .



## **2 Обеспечение центровки агрегата**

### **2.1 Компенсирующая расцентровка**

Одним из ключевых факторов в поломках насосов и компрессоров является потеря центрации роторов механизма. Расположение центральных точек валов на одной оси, и приведение их в соосность в процессе монтажа называют «центровка». В том случае, когда соосность соблюдена точно, можно сделать вывод о качественной центровке агрегата. А когда соосность не соблюдена, это является признаком некачественной центрации всего механизма и его принято называть «расцентровка». В общих случаях правильный монтаж и нахождение центров опорных подшипников на центральной оси определяет качество центровки [21].

В практике качество центровки валов, не соединенных муфтой полностью определяется взаимным геометрическим, пространственным положением опорных вкладышей подшипников скольжения или же параметрами монтажа подшипников качения в подшипниковых стойках или щитах [25].

Различают два основных вида расцентровки:

- параллельную (или радиальную);
- угловую (или торцевую).

Параллельная расцентровка валов – представляет собой обоюдное отклонение от единой осевой линии валов механизмов, находящихся параллельно друг другу. Если произошло смещение одного из опорных подшипников на небольшое расстояние, что бывает в практике чаще всего, то в итоге это будет не параллельная расцентровка, а комбинированная минус параллельная плюс угловая. Обычно, в таких случаях, максимальным в общую вибрацию будет является вклад от параллельной расцентровки [27].

Дело в том, что возникший при смещении одного подшипника угол излома по своей величине не превышает одного углового градуса, что обычно не очень существенно, а сдвиг валов в точке центровки может равняться

миллиметру и более, что может существенно сказаться на режиме работы агрегата. Естественным, что определяющим фактором, влияющим на повышение вибраций, будет параллельная расцентровка, хотя при этом будет присутствовать и угловая [25].

Угловая расцентровка – представляет собой несоосность выраженную в качестве отклонения на некоторый угол в том месте где соединяются валы, при этом могут быть хорошие показатели в нахождении центров валов на одной оси. Для определения угловой расцентровки используют метод измерения зазоров между валами вдоль всех окружности, то есть так называемый поиск «раскрытия» валов [23].

Обычно случаи несоосности валов агрегатов имеют сложный характер несоосности, включающий в себя оба вида расцентровки. Для выявления расцентровки проводится вибродиагностика, и по ее итогам находят самую сильную расцентровку, которую в последствии устраняют.

Причин появления расцентровок в работающем оборудовании достаточно много. Это и процессы износа, влияние технологических параметров, изменение свойств фундамента, искривление подводных трубопроводов под воздействием изменения температуры на улице, изменение режима работы и т.д [24].

Подгонка валов агрегата чтобы их оси совпадали в пространстве – это основное назначение центровки. Ось это идеализированное понятие, однако в реальных случаях в деталях машин есть неточности в изготовлении которые препятствуют идеальной центровке [19].

Исходя из этого, во избежание возникновения нагрузок при вращении с несоосностью используют муфты, которые компенсируют погрешности. Такие муфты компенсируют погрешности упругими частями, при передаче крутящего момента. Допуски на центровку валов агрегатов зависят от типов муфт которые соединяют валы, а так же от скорости с которой придается вращение валам. Поверхности полумуфт используют как плоскости, в которых проводят измерения при контроле центрации [23].

В документах и нормативах описаны требования к обоим типам расцентровки. Смещение осей относительно друг друга называется радиальная расцентровка, а недопустимый угол оси агрегатов называют торцевой расцентровкой. Обычно в практике присутствуют обе расцентровки как в горизонтальных так и вертикальных плоскостях [28].

Основная часть машин эксплуатирующаяся в промышленности использует в своей конструкции упругие вулочно-пальцевые муфты (МУВП). При использовании мощных машин применяются зубчатые компенсирующие муфты [26]. Контроль расцентровки проводится с помощью измерений раскрытия валов – для торцевой расцентровки (в вертикальных и горизонтальных плоскостях), а измерением смещения и несоосности полумуфт производится контроль радиальной расцентровки. Зубчатыми муфтами допускаются расцентровки  $R = 0,05 \text{ мм}$  и  $T = 0,04 \text{ мм}$ . Для упругих вулочных муфт, эксплуатирующихся с частотой синхронного двигателя  $1500 \text{ об/мин}$ ,  $R = 0,12 \text{ мм}$ ,  $T = 0,12 \text{ мм}$ , при частоте  $3000 \text{ об/мин}$   $R = 0,05 \text{ мм}$ ,  $T = 0,05 \text{ мм}$ .

## 2.2 Требования к соединительным муфтам

Компенсирующие свойства соединительных муфт зависят от их непосредственного состояния. Вследствии этого перед началом центровки стоит удостовериться, что муфта подобрана правильно по ТУ, относительно оси, как по радиальному так и по осевому биению. Кроме того муфта должна иметь надежную посадку на вале. Не маловажным является условие сборки муфты в том пространственном положении полумуфт, в котором происходило их изготовление. На полумуфты наносят отметки (маяки) благодаря которым впоследствии их соединяют в правильном положении, при монтаже. Не выполнение каждого из вышеописанных условий, может являться причиной неточности в центровке, и далее привести к поломке узлов механизмов [29].

## **2.3 Горизонтальность установки валов**

Учитывая фактор собственной тяжести узлов агрегатов, и нагрузки возникающей при работе, осевая линия не будет являться идеально прямым отрезком. В процессе центровки важен контроль горизонтального положения валов. Для вала с подшипниками скольжения это условие обязательно. Прибором, контролирующим, положение относительно горизонта служит уровень. Измерения производятся на шейках подшипников или на горизонтально расположенной плоскости вала [2].

## **2.4 Приспособления для контроля центровки**

Раньше при центровке валов агрегатов использовались простейшие инструменты, такие как уровень и линейка, однако для центровки подобными приспособлениями требуется наличие опыта и многолетняя практика. Так же эти методы не могут дать гарантий при особо точной центровке, в виду человеческого фактора. Таким образом, использование морально устаревшего инструмента и методов связанных оправдано лишь при отсутствии современных технологий или срочности работ [8].

В настоящее время существует большое количество приборов и приспособлений способных технологически практически идеально показать расцентровку, такие как лазерные компьютерные измерители способные показать погрешности до 0,001 мм, автоматически рассчитывающие смещения которые необходимо произвести для получения требуемого показателя соосности. Недостатком данных приборов является их цена (около десяти тысяч долларов) [15].

Золотой серединой являются приборы типа «ИЧ 0,01» – индикатор часовой, с возможностью обеспечить точность до 0,01 миллиметра. Прибор для центровки зубчатых муфт изображен на рисунке 35. Крепеж такого устройства производится на полумуфте, с помощью специального хомута. Радиальные и торцевые зазоры выставляются с помощью регулировочных болтов [19].

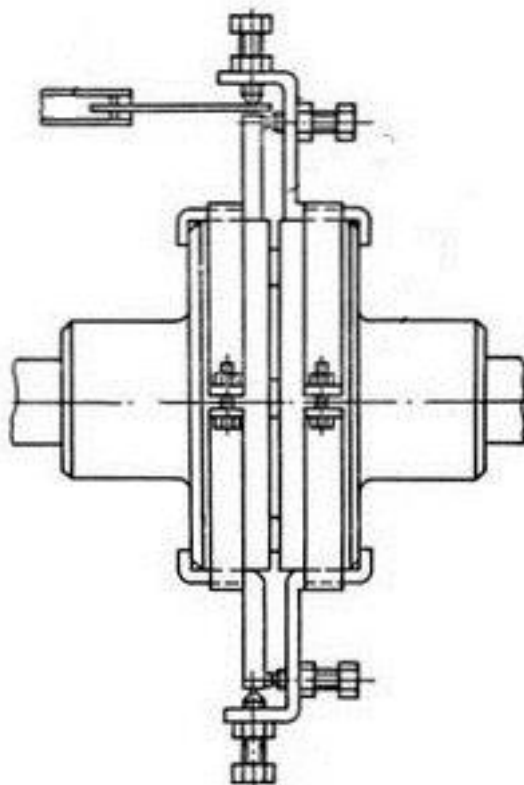


Рисунок 35 — Устройство для центровки валов с зубчатыми муфтами

При проведении центрации используются пластины определенной толщины, называемые щупами. В ходе измерений пластины вставляют в зазор с нескольких сторон и подгоняют под нужную величину. Щуп должен входить в зазор с определенным усилием, не требующим приложения грубой силы, однако отсутствие сопротивления тоже будет недостаточным для завершения работ. Вследствие этого подобного рода измерения требуют опыта. Размер требуемого зазора вычисляется посредством среднего значения толщины пластин. Этот принцип использован в работе индикаторов часового типа. Применение этого оборудования ускорят процесс центровки, а так же сглаживает погрешности человеческого фактора ошибки. Зазоры между частями муфты измеряются пластинчатыми щупами. Такого рода устройство изображено на рисунке 36, используется для осуществления центровки упругих втулочно-пальцевых муфт [4].

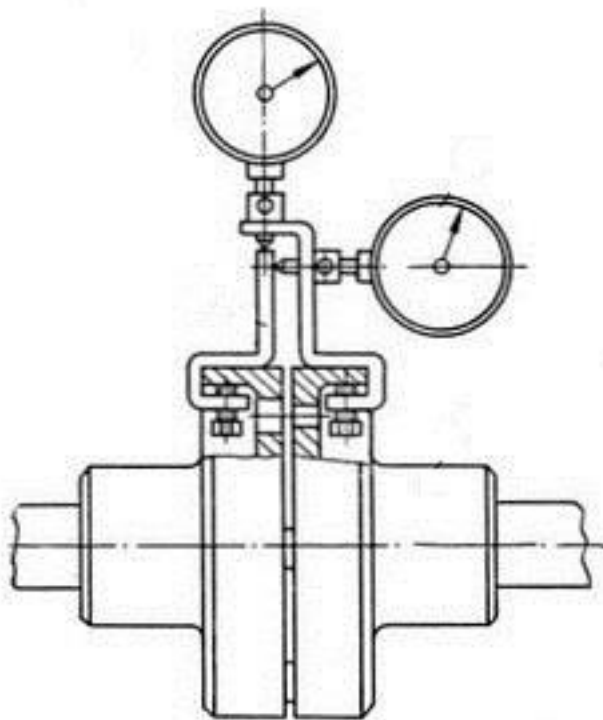


Рисунок 36 — Приспособление для центровки упругих втулочно-пальцевых муфт

## 2.5 Методика центровки агрегата

Проверка всех крепежных элементов на прочность затяжки это обязательная процедура перед началом центровки агрегатов. Погрешности связанные с этим выявляются в ходе работы агрегата, вследствие чего нарушается центровка во время работы, что может привести к фатальным последствиям [5].

Для осуществления центровки валов с полумуфтами, монтируется устройство, и делаются первичные измерения  $R$ ,  $T1$  и  $T2$ . После чего, изменяя угол положения валов с полумуфтами, в сторону кручения валов, на  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $270^\circ$ , производят аналогичные замеры, исходя из которых, строятся круговые диаграммы, изображенные на рисунке 37.

Синхронное вращение валов в рабочем направлении осуществляется по причине избежания возможности создания помех торцевыми и радиальными биениями на замеры. При приведении валов в исходную точку производится проверка замеров сделанных ранее. После чего рассчитывается среднее

арифметическое каждого измерения, суммы сравниваются после чего можно сделать выводы о качестве центровки.

$$R_{\text{с}} + R_{\text{н}} = R_{\text{н}} + R_{\text{л}} \quad (6)$$

$$T_{\text{с}} + T_{\text{н}} = T_{\text{н}} + T_{\text{л}} \quad (7)$$

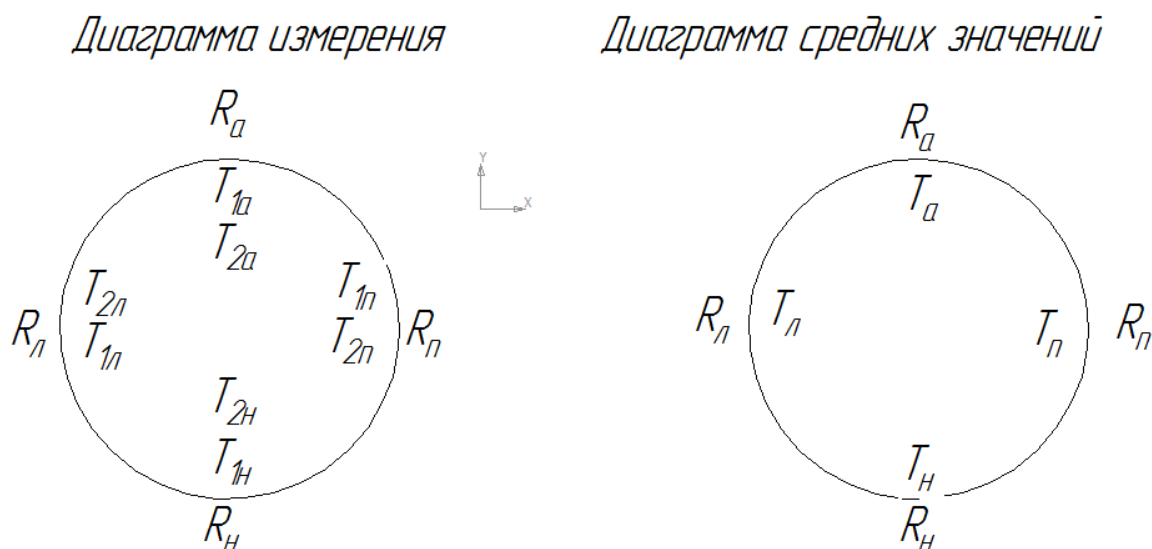


Рисунок 37 — Пример круговых диаграмм

Формулы для расчетов фактической расцентровки:

$$E_y = \frac{R_{\text{с}} + R_{\text{н}}}{2} \quad (8) \text{ – Значение вертикальной радиальной расцентровки;}$$

$$E_x = \frac{R_{\text{н}} + R_{\text{л}}}{2} \quad (9) \text{ – Значение горизонтальной радиальной расцентровки;}$$

$$S_y = \frac{T_{\text{с}} + T_{\text{н}}}{2} \quad (10) \text{ – Значение вертикальной торцевой расцентровки;}$$

$$S_x = \frac{T_{\text{н}} + T_{\text{л}}}{2} \quad (11) \text{ – Значение горизонтальной торцевой расцентровки.}$$

Результаты расчетов дают общую картину в процессе анализа которой решается делать ли дальнейшую центровку или оставить агрегат в текущем пространственном положении. В основном центровку производят изменением положения двигателя. По вертикали регулировка производится посредством подкладки под лапы двигателя прокладок изготовленных из листового металла разной толщины, имеющих П образную форму. Обязательна так же плотная постановка лап двигателя на опору, они обязательно должны прилегать без

зазора. После чего двигатель притягивается к опоре крестообразным способом, во избежание перекоса при затяжке [7].

По горизонтали регулировка производится болтами, упирающимися в опорные поверхности.

После всех манипуляций производится мониторинг результатов, используя центровочное устройство.

Приспособление устанавливается в то положение, в котором параметр расцентровки был наибольшим и требовал регулировки. После этого двигатель перемещается относительно параметра, пока не попадет в заданные пределы нормы [9].

Перемещение рассчитывается схематично, пример такой схемы можно увидеть на рисунке 38.

$$Y_1 = E_y + \frac{L_2 S_y}{D} \quad (12) \quad - \quad \text{Изменение пространственного положения}$$

подшипника №1 по вертикали;

$$Y_2 = E_y + \frac{L_1 S_y}{D} \quad (13) \quad - \quad \text{Изменение пространственного положения}$$

подшипника №2 по вертикали;

$$X_1 = E_y + \frac{L_2 S_x}{D} \quad (14) \quad - \quad \text{Изменение пространственного положения}$$

подшипника №1 по горизонтали;

$$X_2 = E_x + \frac{L_1 S_x}{D} \quad (15) \quad - \quad \text{Изменение пространственного положения}$$

подшипника №1 по горизонтали.

$D$  – диаметр, на котором производят контрольные замеры.

По завершению центровочных манипуляций, производится контроль повторными измерениями значений торцевых и радиальных расцентровок. Если значения не попадают в допусковые значения, то операции повторяют до тех пор, пока не будет достигнуто попадание в поле установленных значений. В окончании центровки оборудование фиксируют дополнительным крепежом, болкирующим пространственные смещения частей агрегата [13].



## 2.6 Факторы, влияющие на центровку агрегата

В случаях когда части полумуфт имеют изгиб, попадание в поле допуска центровочных значений не представляется возможным, вследствие того что изгиб будет влиять на процесс измерения.

Раздушение опорных элементов трубопровода и недостаточное демпфирование нагрузки от их веса может привести к давлению на насосный или компрессорный агрегат, с дальнейшим его смещением с оси вращения. В требованиях ТУ учтен этот фактор, и описано правило, которое обязует изолировать возможные нагрузки создаваемые трубами, от действия на агрегаты [6].

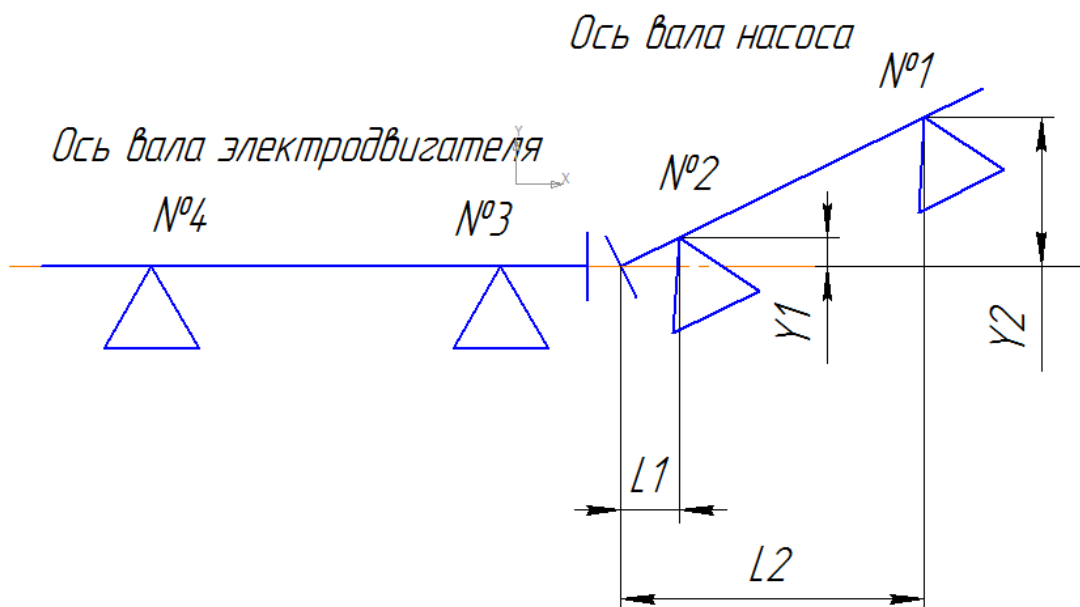


Рисунок 38 — Влияние типа муфты на вибрации при расцентровке

Картина вибраций на двух контролируемых подшипниках, возникающая при расцентровке валов двух соединяемых механизмов (по подшипникам), зависит от многих параметров, но в наибольшей степени зависит от типа и конструкции соединительной муфты, ее технического состояния. Все многообразие применяемых на практике соединительных муфт, исходя из основных конструктивных особенностей, имеется в виду их влияния на характер вибрации при расцентровке, можно свести в три основные группы:

– жесткие муфты;

- гибкие муфты;
- подвижные муфты с гистерезисом [20].

*Жесткая муфта* – это муфта, при помощи которой два разных вала объединяются практически в единое целое.

После сборки жестких муфт оси роторов обязательно будут всегда принудительно совпадать. Расцентровка, т.е. некорректный монтаж «линии вала по подшипникам», при этом отсутствует. Она сказывается только в изменении величины и направления усилий, действующих на подшипники, деформирует «розу вибраций» в направлении некорректности в монтаже подшипников [2].

При параллельной вертикальной расцентровке происходит разгрузка опор, расположенных ниже, противоположные же опоры, через муфту, при этом нагружаются. При угловой вертикальной расцентровке происходит перераспределение усилий на ближние и дальние подшипники, если считать от полумуфты. Если расцентровки имеют горизонтальную ориентацию – то возникают соответствующие горизонтальные реакции [1].

Расцентровка при жестких муфтах и подшипниках скольжения не создает сама по себе возмущающих сил, не сказывается в спектре вибрации. Ее влияние на вибрацию определяется изменением жесткости смазочного слоя опорных подшипников вдоль зазора за счет изменения опорных реакций [4].

Результатом этого достаточно простого заключения являются большие последствия – диагностировать расцентровку валов, соединенных жесткой муфтой, при помощи методов спектральной вибродиагностики достаточно трудно. Если при монтаже муфты ремонтным службам удалось полностью исключить дефект монтажа типа «колено», то отдиагностировать по спектрам вибросигналов параллельную расцентровку в жесткой муфте очень сложно [11].

Если «колено» в муфте, хоть в малой степени, присутствует, то диагностика возможна, но будет диагностироваться не расцентровка, а интегральный специфический параметр, который можно условно определить как «произведение расцентровки на колено». Это происходит потому, что сам дефект типа «колено» является той лакмусовой бумагой, которая приводит к

появлению в спектрах вибросигналов характерной картины и позволяет выявлять расцентровку.

При отсутствии дефекта монтажа муфты типа «колесо» диагностику расцентровки в жесткой муфте можно все – таки выполнить, но при этом ее следует производить другими, более «специфическими» методами вибродиагностики, например, при помощи применения для диагностики синхронных или синхронизированных вибросигналов, регистрация которых является более сложной, и требует более сложных приборов [3].

*Примером гибкой муфты* служит линзовая муфта, в которой валы соединяются при помощи элемента специальной формы, напоминающего по форме один элемент барометрической коробки. В спектре вибрации на подшипниках вблизи такой муфты с расцентровкой характерные спектральные признаки расцентровки видны почти в классическом проявлении, хотя и в несколько ослабленном, можно сказать сглаженном виде. В радиальном направлении, в направлении основной плоскости расцентровки происходит общее увеличение вибрации, особенно второй гармоники оборотной частоты. В осевом направлении сильно вырастают вторая и третья гармоники [15].

*Подвижная муфта с гистерезисом.* В этот класс можно отнести те муфты, которые в пределах небольших взаимных смещений полумуфт ( центруемых валов ) ведут себя как свободное соединение, а при больших смещениях – как жесткие или гибкие муфты. Оси роторов таких муфт после сборки могут оставаться взаимно смещенными и вибрация при этом не будет большой, по крайней мере при смещениях валов на небольшую величину, не превышающую зону свободных перемещений, люфтов. К этому классу можно отнести зубчатые муфты, разнообразные пальцевые и кулачковые, пружинные и т. д. При расцентровках в оборудовании, которые по своей величине не выходят из диапазона допустимых смещений, муфты с гистерезисом, т. е. с небольшой подвижностью, компенсируют смещение валов и вибрация существенно не возрастает. В этом состоит коренное отличие методов вибрационной

диагностики расцентровок от методов непосредственного контроля смещения валов, например, при помощи лазерных центровщиков. В вибросигнале явные признаки расцентровки появляются только тогда, когда по своей величине расцентровка превысит смещение, допустимое для конструкции данной муфты.

При использовании одновременно двух методов контроля качества центровки, например, по вибрации и при помощи лазерного центровщика, могут возникнуть сложности, связанные с трактовкой противоречивых заключений. Например, лазерный центровщик может показать наличие расцентровки, но при этом по вибрации она не будет диагностироваться. Такое противоречие может иметь место в муфте с гистерезисом, когда смещение валов есть, но величина этого смещения валов меньше значения, допустимого для данной муфты [32].

Лазерный центровщик покажет истинное смещение валов в неработающем агрегате, а вибрационные методы позволят сделать заключение, что такая расцентровка не сказывается на работе агрегата.

Заключения двух методов становятся одинаковыми в том случае, когда смещение валов в зоне соединения превысит допустимые компенсационные возможности муфты.

Рассмотрим предпосылки возникновения в вибрации расцентрованной муфты с гистерезисом характерных гармоник, по которым проводится диагностирование расцентровки по спектрам вибросигналов. На картину “чистой расцентровки”, наблюдаемой при наличии жесткой муфты, будут накладываться динамические удары в моменты “переключения внутреннего зазора в муфте”, когда полумуфты будут перемещаться во взаимно противоположные направления в диапазоне допустимого гистерезиса. Такой характер ударов полумуфт друг о друга приводит к появлению во временном вибросигнале колебаний, симметричных относительно оси времени, т. е. появлению в спектре нечетных гармоник, наибольшее значение из которых, наряду с возросшей первой гармоникой, будет иметь третья гармоника. Пятую и седьмую можно наблюдать, но по своей величине они малы. Эти гармоники

добавляются к первой гармонике оборотной частоты, имеющей место практически всегда, и ко второй, которая всегда свойственна расцентровке [4].

Четные гармоники оборотной частоты возникает обычно в моменты ударов, а поскольку при расцентровке на один оборот приходится обычно два удара, то преобладающей, из четных гармоник, является вторая гармоника. Появление второй гармоники в сигнале достаточно хорошо объясняется при помощи анализа “розы вибраций”, имеющей при расцентровке два диаметрально противоположных максимума.

Такая картина распределения вибраций может быть получена только при наложении вибраций двух гармоник, первой и второй, когда вторая гармоника модулирует первую. В итоге на суммарной вибрации появляются два пика [17].

В спектре вибрации расцентровки валов механизмов, соединенных при помощи муфты с гистерезисом часто происходит наложение гармоник от двух различных причин повышенной вибрации – расцентровки и “механического ослабления”. Под механическим ослаблением здесь следует понимать наличие свободных зазоров в муфте, через пространство которых происходят постоянные соударения полумуфт. Первопричиной соударений является расцентровка [1].

По качественным и количественным соотношениям в проявлении ослабления в расцентрованной муфте можно достаточно корректно судить о ее техническом состоянии, оценивать состояние зубцовых пар зубчатой муфты, определять наличие сломанных элементов в пружинной муфте и т. д. Удары полумуфт друг о друга, вызванные расцентровкой, являются тем самым “молоточком”, который возбуждает диагностические колебания.

Для каждого конкретного типа соединительной муфты, с нелинейностью типа люфт, можно разработать целый ряд простых диагностических правил, позволяющих достаточно подробно контролировать ее техническое состояние [4].

*Угловая расцентровка.* Рассмотрим проявление в спектре вибросигнала угловой расцентровки валов двух механизмов на практическом примере. Это многоступенчатый насос мощностью 1600 кВт для закачки воды в нефтяной пласт. Частота вращения насоса составляет 3000 об/мин.

Угловая расцентровка обычно характеризуется достаточно высоким общим уровнем осевой вибрации. Особенностью угловой расцентровки является то, что максимум мощности осевой вибрации сосредоточен, чаще всего, или на первой или на второй гармониках частоты вращения ротора.

Бывают случаи максимума и на третьей гармонике, это все зависит от типа муфты и геометрического положения роторов в пространстве. В приведенном примере максимум мощности осевой вибрации сосредоточен на первой гармонике [19].

Третья гармоника вибросигнала может иметь максимум при наличии наклона оси ротора относительно горизонтали, когда ротор “скатывается” под своим собственным весом по направлению к муфте. При угловой расцентровке фаза осевой составляющей вибрации изменяется на 180 градусов с двух сторон полумуфты. Фаза гармоник в радиальном направлении может быть не полностью устойчивой. Это хорошо согласуется с картиной физических процессов в агрегате при угловой расцентровке, когда основой являются осевые удары полумуфт друг о друга, а радиальные усилия и вибрации являются уже вторичными, по сравнению с осевыми усилиями.

При устранении этой расцентровки насоса для закачки воды в пласт, спектры вибросигналов которого приведены на рисунке 39. во время проведения плановых ремонтных работ, было выявлено, что она имела в своем составе так же и частичную параллельную компоненту [1].

*Параллельный тип расцентровки* часто имеет аналогичные вибрационные симптомы с угловой расцентровкой, но при ней максимально высокой является радиальная вибрация. Фаза радиальной вибрации меняет свое значение на 180 градусов при переходе через муфту. Соотношение первой и второй гармоник оборотной частоты в радиальном направлении при

параллельной расцентровке всегда примерно одинаковое – вторая гармоника превышает первую гармонику по амплитуде и по мощности. Это соотношение является относительным [5].

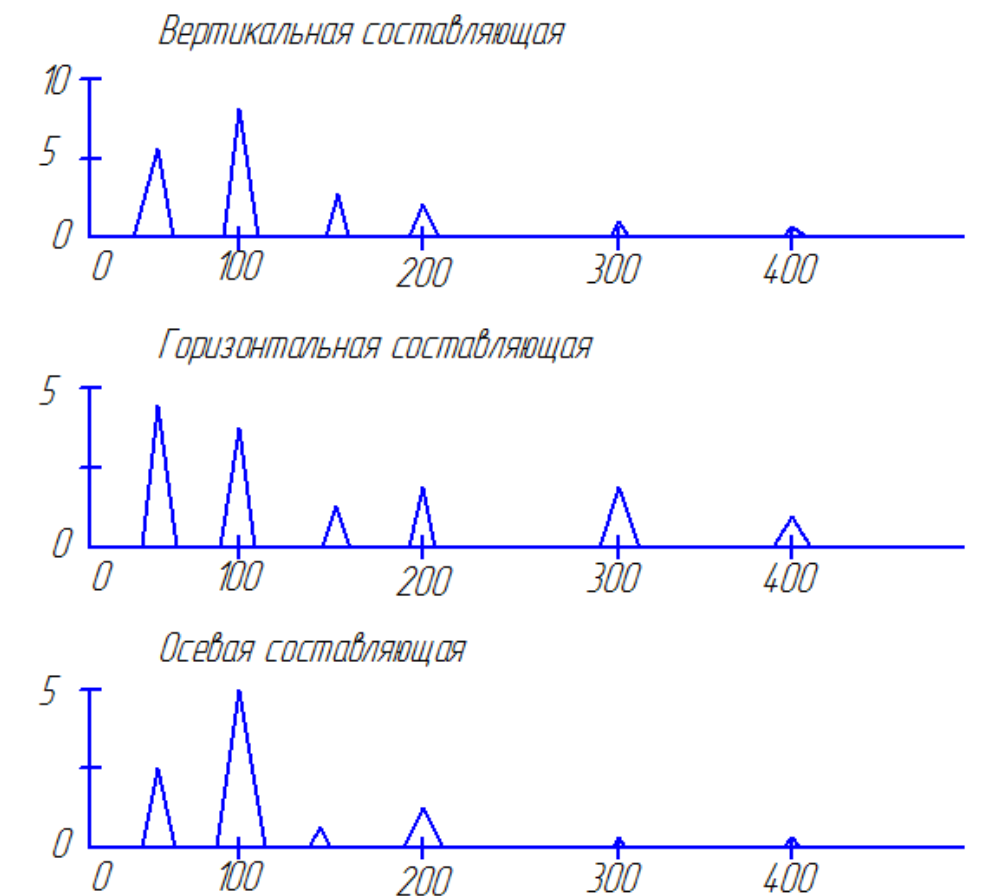


Рисунок 39 — Спектры с параллельной расцентровкой

Абсолютное значение первой и второй гармоник определяется, в основном, двумя параметрами – величиной имеющейся расцентровки и типом и конструкцией муфты. О влиянии типа муфты на характер расцентровки сказано было выше [18].

Осевая составляющая вибрации при параллельной расцентровке обычно возрастает очень незначительно, за исключением случая расцентровки на изношенной муфте. При такой муфте в осевой составляющей обычно бывает максимальной вторая гармоника вибросигнала, третья же бывает максимальной редко, только при специфических износах соединительных муфт.

### *Расцентровка на изношенной муфте.*

Как уже говорилось выше расцентровка позволяет диагностировать состояние соединительных муфт с гистерезисом, т. е. с небольшим зазором между элементами полумуфт типа люфт. Удары, возникающие при расцентровке позволяют оценивать изношенность муфты и целостность конструктивных элементов. Картина проявления дефектов зависит от типа муфты, она различна в зубчатых муфтах, пальцевых, пружинных и т. д. Рассмотрим проявление расцентровки на примере зубчатой соединительной муфты, у которой из – за расцентровки, первоначальной причины, произошел значительный износ зубчатых пар, увеличились зазоры в зубчатых соединениях.

Пример спектра вибрации в вертикальном направлении при наличии вертикальной же параллельной расцентровке показан на рисунке 40.

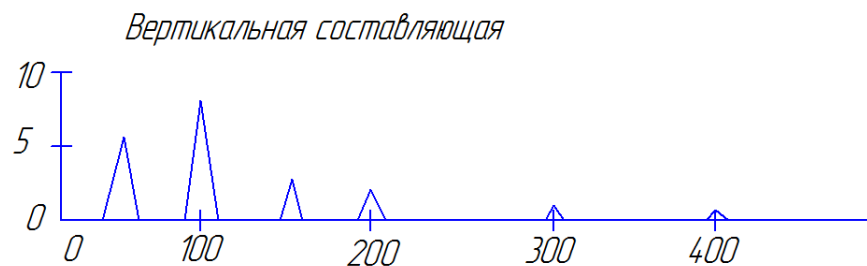


Рисунок 40 — Спектр вибрации агрегата с расцентровкой и износом муфты

На рисунке хорошо видны первые две гармоники оборотной частоты, свойственные сдвиговой расцентровке, несколько меньшая по величине третья гармоника [14].

Далее, до восьмой гармоники, и даже дальше, до двенадцатой, чего на спектре не видно, следуют гармоники, свойственные механическому ослаблению. По амплитуде эти гармоники в примерно два раза меньше гармоник от расцентровки.

Такая спектральная картина говорит о достаточно сильном развитии серьезного и опасного дефекта – износе зубчатого зацепления в муфте. Текущее техническое состояние зубчатых пар не соответствует данному состоянию



агрегата и его центровке. Если бы на спектре гармоник от ослабления почти сравнились бы с гармониками от расцентровки, то можно было говорить о почти полной деградации зубчатых пар в муфте [9].

Выхода для практики в этом случае два – или заменить муфту (ее элементы), или добиться идеальной центровки, исключая сдвиговые усилия в муфте.

*Режимная (технологическая) расцентровка* по своему виду может быть параллельными или угловыми. Специфичность их заключается в том, что они носят “блуждающий” характер. При определенных условиях работы оборудования такие расцентровки диагностируются по спектрам вибросигналов, а при других условиях нет

Основными причинами, приводящими к появлению таких “блуждающих” расцентровок, можно назвать:

- неодинаковые тепловые изменения линейных параметров подшипниковых опор, приводящие к различным взаимным смещениям центров подшипников в пространстве;
- различная степень “технологической стабилизации” или, наоборот, “технологической нестабильности” при изменении нагрузки на агрегат, приводящая к изменению проявления расцентровок в различных режимах работы;
- тепловые деформации присоединенных к агрегату конструкций, например, тепловые деформации трубной обвязки насосов;
- тепловые линейные расширения агрегатов под воздействием разогрева в процессе пуска или при изменении режимов работы;
- искривления фундаментов в процессе работы, при изменении температуры окружающей среды, смены времен года и т. д., приводящие к искривлению идеальной линии вала [11].

Наиболее важным вопросом, который приходится решать при диагностике таких расцентровок, является выявление причин, приводящих к

появлению тепловых (режимных) расцентровок. Если такую причину удастся дифференцировать, то вероятность устранения расцентровки высока.

*Расцентровка + «колени» + подшипник скольжения.*

Здесь хочется привести практический пример, хотя и встречающийся в практике достаточно редко, но показывающий всю сложность проявления расцентровки в спектральной вибрационной картине, на которую значительно влияет конструкция агрегата и его текущее техническое состояние.

В турбоагрегате между цилиндром низкого давления ( ЦНД ) и турбогенератором фиксировалась очень интересная картина вибраций. По спектру вибросигналов с двух сторон муфты диагностировались небаланс и сдвиговая расцентровка. Вопрос о необходимости проведения центровки механизмов был спорным, т. к. ее проявление было нестандартным. На стороне ЦНД диагностировалась чисто поперечная параллельная расцентровка, а на стороне генератора – чисто вертикальная и тоже сдвиговая [8].

На стороне ЦНД в вертикальной проекции была только первая гармоника, аналогично в поперечном направлении на генераторе. Вообще первая гармоника с двух сторон муфты была максимальной. Небаланс имел более ярко выраженную картину. Попытка балансировки однако кончилась малым снижением вибрации.

После проведения ревизии муфты и центровочных работ вибрация снизилась до нормы [25].

В турбоагрегате между ЦНД и генератором расположена обычно гибкая линзовая муфта. При монтаже муфты в ней диагностировалось “колени”. Под воздействием теплового вертикального расширения, неодинакового роста стоек подшипников при различной температуре, в муфте возникла вертикальная параллельная расцентровка.

Кроме того при монтаже, может и по тепловым причинам, имела место небольшая сдвиговая поперечная расцентровка. В конечном итоге получилась сдвиговая расцентровка по диагонали.

Все это приводило к тому, что сдвинутые за счет “колени в муфте” валы

вращались так, что когда вал генератора был ниже вала ЦНД, подшипник ЦНД разгружался, толщина масляного клина увеличивалась.

При дальнейшем повороте вала следовал удар по подшипнику ЦНД в поперечном направлении. В следующей фазе поворота вала наносился удар по подшипнику генератора, причем всегда в направлении сверху вниз. Это было выявлено только при синхронной регистрации сразу шести вибросигналов с двух сторон полумуфты [28].

Во многом такая сложная картина вибраций, затруднившая диагностику на первом этапе, выполнявшуюся с применением одноканального спектроанализатора, возникла из-за наличия в агрегате подшипников скольжения. В таких подшипниках маслянный клин имеет нелинейную несущую способность, в результате чего, при определенных условиях, что видно по вышеописанному примеру, происходит перераспределение нагрузок между подшипниками даже в течении одного оборота вала [1].

### **3 Основные характеристики насосных агрегатов**

#### **3.1 Виды нефтяных центробежных насосов**

Насосы центробежного типа, используемые в нефтяной промышленности (ЦНС) имеют широкое распространение, и используются как при добыче нефти из скважины насосным методом, так и для транспортировки нефти, нефтепереработке, и химических производств. Они используются для перемещения газонефтяных флюидов и сходных по вязкости жидкостей, нагнетания жидкостей под давлением и прочее. В общих случаях исполнения насосов к жидкости выдвигаются требования по содержанию в ней твердых абразивных частиц (0,2 процента) массы этих примесей от общего объема жидкости, а их габариты не должны превышать 0,2 миллиметра [34].

Для каждой условий в которых предстоит работать насосным агрегатам, подбираются специальные климатические настройки, от которых и зависит климатическое исполнение изделия. Кроме того в конструкцию могут быть внесены изменения в связи с опасными условиями эксплуатации. Виды исполнений центробежных нефтяных насосов (ЦНС);

1. НК – нефтяной консольный для нефтепродуктов до  $+400^{\circ}\text{C}$  ;
2. Н – нефтяной горизонтальный многоступенчатый;
3. НД, НДс – нефтяной двустороннего входа;
4. НПС, НСД – нефтяной секционный с плоским разъемом корпуса;
5. НВ, НА – нефтяной вертикальный и артезианский;
6. НМ, НПВ – нефтяной магистральный и нефтяной подпорный;
7. С-5/140 – насос для сжиженных газов;
8. НЧ-5/170-1 – нефтяной черпаковый горизонтальный одноступенчатый [35].

### 3.2 Электродвигатель СТДМ 6300 (6,0 кВ)

#### *Общие сведения:*

Электродвигатели из серии СТД развивающие мощность от 620 до 12500 киловатт являются синхронными, трехфазными, двигателями с развиваемой частотой 50 и 60 герц. Они используются для приведения в действие насосных и компрессорных агрегатов, а так же других механизмов требующих большого количества оборотов и использующихся в условиях заводского производства.

Электродвигатели развивающие мощности от 640 до 5000 киловатт имеют свойство разомкнутой и замкнутой схемы вентилирования, электродвигатели имеющие мощность от 6300 до 12500 киловатт – только замкнутой схемы вентилирования. Предназначаются как для внутреннего использования в промышленности страны так и для экспорта за границу [31].

#### *Условия эксплуатации:*

Окружающая среда невзрывоопасная. Допустимое содержание пыли в воздухе не более  $0,2 \text{ мг} / \text{м}^3$ . Группа механического исполнения М6 по ГОСТ 17516.1–90. Требования безопасности по ГОСТ 12.2.007.0–75, ГОСТ 12.2.007.1–75. Зажимы заземления и знаки заземления соответствуют требованиям ГОСТ 21130–75. По способу защиты человека от поражения электрическим током двигатели соответствуют классу I по ГОСТ 12.2.007.0–75. Двигатели для внутригосударственных поставок мощностью 630–5000 кВт соответствуют ТУ 16-512.167–76, мощностью 6300–12500 кВт – ТУ 16-512.224–76. Кроме того, все двигатели соответствуют ГОСТ 183–74, ГОСТ 18200–79 и комплекту документации, указанной в технических условиях [32].

#### **4. Использование канатных муфт**

Одним из способов борьбы с различными видами смещения валов, а также компенсации различных ударов и толчков во время работы агрегата, было использование канатных муфт, которые представляли собой два фланца закрепленных между собой стальными канатами. После наработки муфты на агрегате, происходило разрушение стальных канатов, но не в месте наибольшей нагрузки в центре, а у самого фланца. Причиной этого было определено перекаливание стального троса во время приварки к фланцу. Так как во время работы муфта хорошо проявила себя, можно предложить изменить способ крепления троса к фланцу [8].



Рисунок 41 — Полумуфты с коническими отверстиями

##### **4.1 Технология крепления стальных канатов**

Как вариант можно рассмотреть способ закрепления концевых обойм на концах стальных тросов, применяемый в большинстве своем на морских судах. Способ заливки конца стального каната легкоплавким материалом [32].

Заделку обойм на концах тросов выполняют следующим образом: отложив от конца троса расстояние, равное длине конуса обоймы, накладывают на трос, три марки из мягкой проволоки развивают трос, вырезают органический сердечник и распускают пряди, выпрямляя проволоки с помощью ме-

таллической трубки затем проволоки очищают, промывают их керосином или бензином, насухо протирают и погружают на  $\frac{3}{4}$  длины в 50 процентный раствор соляной кислоты, где проволоки выдерживают до полной очистки; далее на конец троса накладывают временную марку, стягивающую проволоки, и продевают трос в отверстие обоймы, которая предварительно нагревается паяльной лампой до температуры около 250 градусов по цельсию; после этого снимают временную марку, обмазывают трос и нижний конец конуса огнеупорной глиной или обматывают асбестовым шнуром и, равномерно распределив проволоки внутри конуса, производят заливку полости обоймы высококачественным техническим или рафинированным цинком (содержание чистого цинка – 97,5—99%), нагретым до температуры 445—470 градусов по цельсию [13].

Заливку выполняют без перерывов, поддерживая температуру обоймы с помощью паяльной лампы на таком уровне, чтобы металл не затвердевал до полного заполнения полости конуса.

По окончании заливки дают обойме остыть на воздухе и проверяют качество работы, для чего осаживают обойму на трос ударами молотка и осматривают поверхность залитой части троса. Она должна быть чистой, без каких-либо неровностей или раковин [29].

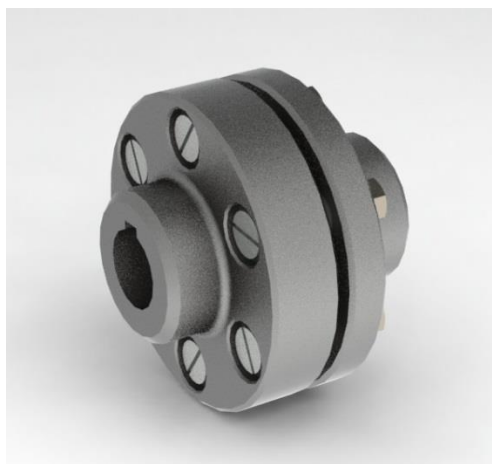


Рисунок 42 — Общий вид канатной муфты в сборе

## 5. Расчетная часть

### 5.1 Проверка на прочность стальных канатов

Для проверки стальных канатов на прочность определим вращающий момент электродвигателя.

Рассмотрим насосный агрегат состоящий из насоса МН 3600/210 и электродвигателя СТД 4000 2РУХЛ4 мощностью  $4000 \text{ кВт}$ , частота оборотов  $3000 \text{ об / мин}$ .

Вращающий момент рассчитывается по формуле:

$$M = \frac{N}{\omega} \quad (16);$$

где  $M$  – вращающий момент,  $N$  – мощность двигателя,  $\omega$  – угловая скорость.

$$\Omega = 2\pi n \quad (17);$$

где  $n$  – число оборотов ( $\text{об / сек}$ ).

$$M = 1299,36 \text{ (кгс} \cdot \text{м)};$$

Определим силу:

$$M = \frac{F}{r} \quad (18);$$

Где  $M$  – вращающий момент ( $\text{кгс} \cdot \text{мм}$ ),  $r$  – радиус (плечо) (мм).

$$F = 23624,78 \text{ (кгс)};$$

Подбор и расчет канатов на прочность будем проводить согласно «Рекомендации по выбору типов и расчету прочности стальных канатов, применяемых в строительных металлических конструкциях» [15].

В изготовлении муфты применим канат двойной свивки типа ЛК-Р

конструкции  $6x \cdot 19 \left( 1 + 6 + \frac{6}{6} \right) + 7x \cdot 7(1 + 6)$ . Сортамент, диаметром 36 мм (ГОСТ 14954–80).



Расчет по прочности стальных канатов, применяемых, в качестве гибких несущих элементов, а также напрягаемых элементов предварительно напряженных конструкций следует выполнять по формуле:

$$\frac{F}{A} \leq \frac{R_{dh} Y_c Y_B}{Y_n} \quad (19);$$

где  $R_{dh}$  – расчетное сопротивление каната;

$Y_c$  – коэффициент общих условий работы канатного элемента, принимаемый по таблица 1;

$Y_B$  – коэффициент условий работы, учитывающий влияние на прочность каната концевых анкерных закреплений и промежуточных концентраторов напряжений, принимаемый по таблице 2;

$Y_n$  – коэффициент надежности по назначению, учитывающий степень ответственности и капитальности сооружения, принимаемый в соответствии с действующими нормативными документами, заданиями и специальными техническими условиями для конкретных сооружений принимаем  $Y_n = 1,5$ .

Расчетное сопротивление  $R_{dh}$  для канатов из параллельных проволок следует определять по формуле:

$$R_{dh} = 0,63 D_{III};$$

$$R_{dh} = 88,2 \left( \frac{\kappa \sigma}{\text{мм}^2} \right) \quad (20);$$

где  $R_{III}$  – наименьшее временное сопротивление проволоки разрыву по государственным стандартам или техническим условиям [33].

Расчетное сопротивление  $R_{dh}$  для витых спиральных (в т.ч. закрытых) канатов и канатов двойной свивки с металлическим сердечником определяется по формулам:

$$R_{dh} = \frac{|\Sigma P_{un}|}{AY_m} \quad (21) \text{ или } R_{dh} = K \frac{P_{un}}{AY_m} \quad (22);$$

где  $|\Sigma P_{un}|$  – значение разрывного усилия каната в целом указанное в государственном стандарте или технических условиях, либо полученное на основании статически обоснованных результатов испытаний образцов;

$\gamma_m$  — 1,6 – коэффициент надежности по материалу в соответствии с п.3.9 СНИП Н-23-81\*;

$\Sigma P_{un}$  – сумма разрывных усилий всех проволок в канате, указанная в государственном стандарте или технических условиях;

$K$  – коэффициент агрегатной прочности витого каната по таблице 1.

Расчет по формуле следует выполнять в тех случаях, когда в стандарте или технических условиях отсутствует значение разрывного усилия каната в целом  $|\Sigma P_{un}|$ .

Проверим прочность, так как для соединения полумуфт будем использовать 4 каната то умножаем площадь сечения каната на 4 [5].

$$\frac{F}{4A} = 21,14 \left( \frac{кгс}{мм^2} \right) \quad (23);$$

$$R_{dh} \frac{\gamma_c \gamma_e}{\gamma_n} = 47,481 \left( \frac{кгс}{мм^2} \right) \quad (24);$$

$$21,14 \left( \frac{кгс}{мм^2} \right) < 47,481 \left( \frac{кгс}{мм^2} \right) \quad (25);$$

Условие прочности выполняется, выбранный тип и диаметр стального каната выдержит прикладываемые нагрузки.

Таблица 1 — Значения коэффициента условий работы  $y_c$

Элементы конструкций	Коэффициенты условий работы $y_c$
Кабели, ванты, ширенгели и другие канатные элементы линейно-протяженных конструкций.	0,85
Канатные элементы пространственных висячих и вантовых покрытий, кроме	0,95
Затяжки, оттяжки, обратные кабели и другие канатные элементы предварительно напряженных конструкций. Предварительно напрягаемые усилиями, превышающими	1,0
Оттяжки мачт и несущие элементы канатных полотен антенно-мачтовых	0,8...0,95 по табл. 46 СНИП П-23-81

Таблица 2 — Значение коэффициента  $y_v$

Узлы и детали канатных конструкций	Узлы и детали канатных конструкций
Концевые крепления с заливкой сплавом ЦАМ9-1,5 на длине не менее 5 диаметров каната	
а) закрытых канатов	0,95
б) спиральных канатов и канатов двойной свивки с металлическим сердечником	1,0
Концевые крепления:	
– с заливкой в конической полости корпуса эпоксидным компаундом;	
– при клиновых анкерах с алюминиевыми прокладками и заполнением пустот эпоксидным компаундом;	
– со сплющиванием или высадкой концов круглых параллельных проволок, закреплением их в анкерной плите и заполнением пустот эпоксидным компаундом со стальной	1,0
Концевые крепления гильзклинового типа	0,95
Перегибы или отклонения каната вокруг жесткого основания по круговой кривой	
а) при отношении $\frac{r}{d}$ (где $r$ – радиус конвой, $d$ – диаметр каната) не менее: 25 – для спиральных (в т.ч. закрытых) канатов, 20 – для канатов двойной свивки с металлическим	1,0

б) при отношении $\frac{r}{d}$ не менее: 20 – для закрытых канатов, 15 – для спиральных канатов из круглых проволок, 12 – для канатов двойной свивки с металлическим сердечником	0,9
Узлы с перегибом и поперечным обжатию закрытых канатов усилием $q$ , не превышающим 25 кН/см (2500 кг/см):	
$q = \frac{N}{r} + \frac{\Sigma N_{\varepsilon}}{l}$	
где $N$ – расчетное усилие растяжения каната; $\Sigma N_{\varepsilon}$ – суммарное усилие предварительного натяжения всех прижимных болтов в узле, отнесены к одному канату; $l$ – длина контакта каната с	
Концевые крепления канатов на коуше зажимами, оплеткой или точечным опрессованием во втулке	По таблице 46 СнИП II- 23-81* только для оттяжек и элементов антенных полотен антенно-мачтовых сооружений

## 5.2 Комплекс метода конечных элементов ANSYS

Быстрое развитие вычислительной техники и ее внедрение практически во все сферы жизни привело к тому, что сегодня грамотный специалист в любой области знаний должен хорошо ориентироваться в мире компьютеров и владеть необходимыми программными средствами. Современный инженер не возможен без знания систем автоматического проектирования (CAD – Computer Aids Design), автоматического производства (CAM – Computer Aids Manufacturing) и автоматического инженерного анализа (CAE – Computer Aids Engineering) [36].

Одним из самых распространенных таких комплексов сегодня является программа ANSYS, использующая метод конечных элементов. Многоцелевая направленность программы, независимость от аппаратных средств (от персональных компьютеров до рабочих станций и суперкомпьютеров), средства геометрического моделирования на базе В-сплайнов (технология NURBS), полная совместимость с CAD/CAM/CAE системами ведущих производителей и «дружеский» интерфейс привели к тому, что именно ANSYS в настоящее время используется во многих университетах для обучения студентов и выполнения научно-исследовательских работ [37].

Программа ANSYS – это гибкое, надежное средство проектирования и анализа. Она работает в среде операционных систем самых распространенных компьютеров – от PC до рабочих станций и суперкомпьютеров. Особенностью программы является файловая совместимость всех членов семейства ANSYS для всех используемых платформ. Многоцелевая направленность программы (т.е. реализация в ней средств для описания отклика системы на воздействия различной физической природы) позволяет использовать одну и ту же модель для решения таких связанных задач, как прочность при тепловом нагружении, влияние магнитных полей на прочность конструкции, тепломассоперенос в 7 электромагнитном поле. Модель, созданная на PC, может использоваться на суперкомпьютере. Это обеспечивает всем пользователям программы удобные возможности для решения широкого круга инженерных задач [27].

Программа ANSYS является средством, с помощью которого создается компьютерная модель или обрабатывается CAD-модель конструкции, изделия или его составной части; прикладываются действующие усилия или другие проектные воздействия; исследуются отклики системы различной физической природы в виде распределений напряжений и температур, электромагнитных полей. Программа используется для оптимизации проектных разработок на ранних стадиях, что снижает стоимость продукции. Все это помогает проектным организациям сократить цикл разработки, состоящий в изготовлении образцов – прототипов, их испытаний и повторном изготовлении образцов, а также исключить дорогостоящий процесс доработки изделия. В ряде случаев испытания образцов являются нежелательными или невозможными. Разработчики, использующие программу ANSYS, могут выявить возможные недостатки проекта или найти его оптимальный вариант до начала изготовления или эксплуатации продукции. Конечно-элементный анализ с помощью программы ANSYS может помочь значительно уменьшить расходы на проектирование и изготовление, добавить уверенности разработчику в правильности принятых им решений [25].

### 5.3 Анализ НДС (напряженно-деформированное состояние) муфты канатного типа методом конечных элементов с использованием комплекса ANSYS

Настоящая работа посвящена анализу напряженно-деформированного состояния муфты канатного типа подвергающейся действию крутящего момента от двигателя марки СТД 6300, и определению возможности использования данной конструкции муфты в промышленности. Общий вид муфты приведен на рисунке 43. Полумуфты соединены с использованием стального каната марки ЛК-Р 36. В расчетной модели принято упрощение в виде завальцовывания концов каната по концам. Акцент расчета ставился на анализ максимального расчетного напряжения для данной муфты, следовательно, данное упрощение приемливо.

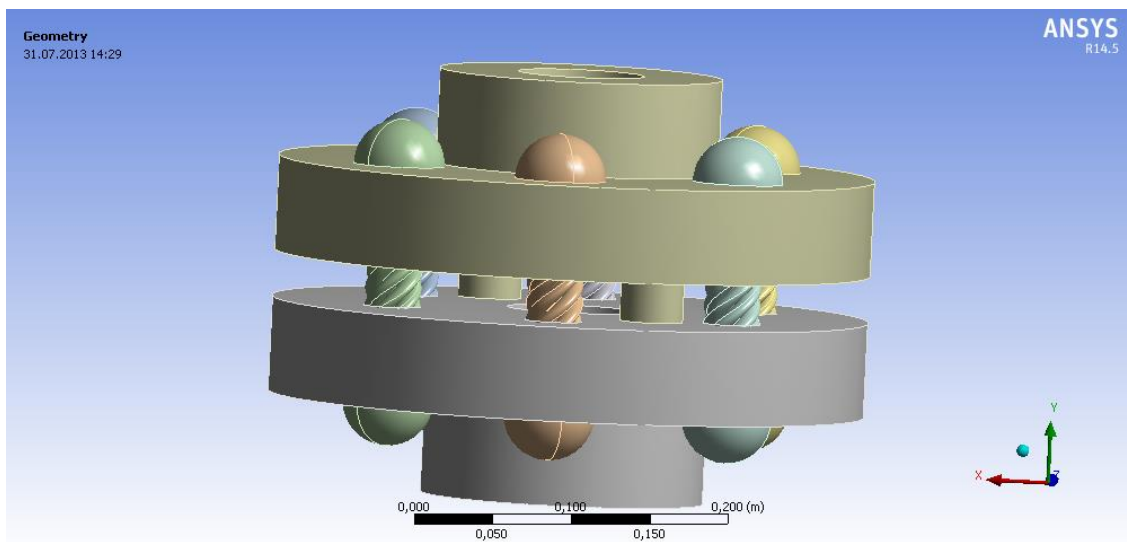


Рисунок 43 — Общий вид муфты

В качестве исходных данных, для расчетов приняты показатели:

1. Расчётная температура – средняя комнатная температура 22<sup>0</sup>С.
2. Материал конструкций сталь 45.

Механические свойства стали 45 (по ГОСТ 1050–74) представлены в таблице 3. Модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,29$ , плотность  $\rho = 7850 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ , предел текучести  $\sigma_{\tau} = 345 \text{ МПа}$ .

Таблица 3 — Механические свойства стали 45

Толщина, проката, мм	Механические характеристики			Ударная вязкость КСУ, $\frac{Дж}{см^2} \left( \frac{кгс \cdot м}{см^2} \right)$			
	Предел текучести $\sigma_{\tau}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Временное сопротивление $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Относительное удлинение $\delta_{\sigma}$ , %	при температуре, °С			после
				20	40	70	Механиче- ского старения
не менее			не менее				
От 4 до 10 включительно	345(35)	490(50)	21	-	39 (4,0)	34 (3,5)	29(3)

3. Двигатель синхронный марки СТД. Технические характеристики представлены в таблице 4.

Таблица 4 — Технические характеристики двигателя СТД

Марка	Мощность, кВт	Частота, об/мин	$M_{max}/M_{min}$	Масса, кг
СТД 6300	6300	3000	2,2	21950

Крутящий момент, подаваемый на муфту, варьируется от 20 кНм до 44 кНм. Все зависит от режима работы, момента пуска двигателя. Расчет будем вести на максимальное значение момента.

4. Стальной канат изготовлен согласно ГОСТ 14954–69.

Настоящий стандарт распространяется на стальные канаты двойной свивки с линейным касанием проволок в прядях ЛК-Р с металлическим сердечником.

Таблица 5 Свойства каната ЛК-Р 36

Толщина, каната, мм	Механические характеристики		Маркировочная группа Н/мм <sup>2</sup>	
	Предел текучести $\sigma_{\tau}$ , Н/мм <sup>2</sup> (кгс/мм <sup>2</sup> )	Ориентировочная площадь сечения всех проволок, мм <sup>2</sup>	Разрывное усилие, Н	
			Суммарное всех проволок в канате, Н	Каната в целом, Н
	не менее		не менее	
36	345(35)	581,81	1155000	938500

Используя данные таблицы 5, имеем максимально допустимое напряжение для каната ЛК-Р 36 равное 1600 Мпа.

Работа проводилась с использованием программного комплекса метода конечных элементов Ansys и имеет приближенные решения, зависящие от полноты входных параметров и постановки решения конкретной расчетной модели. Прочностной расчет был разбит на три этапа: 1 – построение 3D геометрии модели с необходимыми начальными условиями, границами разбиения и сгущения сетки конечных элементов (рисунок 44), 2 – задание граничных условий и нагрузжений в зависимости от постановки решения (рисунок 45), 3 – обработка полученных результатов, графического представления. Так как целью исследование являлось определение НДС муфты и возможность использование канатов, то в области канатов конечно-элементная сетка имеет сравнительно мелкое разбиение, в то время как остальные элементы конструкции разбиты на более крупные элементы. Для уменьшения требуемых расчетных ресурсов ненагруженные элементы конструкции заменены присоединенными массами, эквивалентными массам указанных элементов [27].



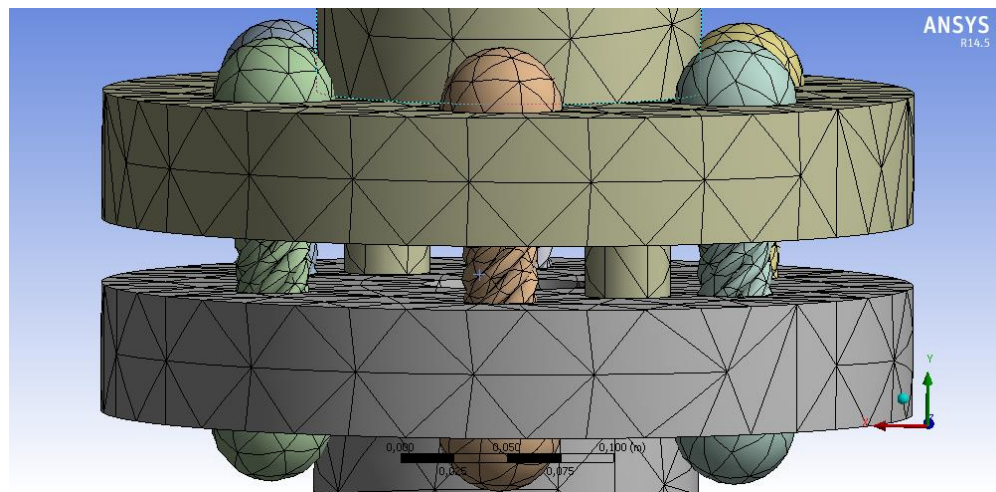


Рисунок 44 — Пример конечноэлементного разбиения конструкции муфты

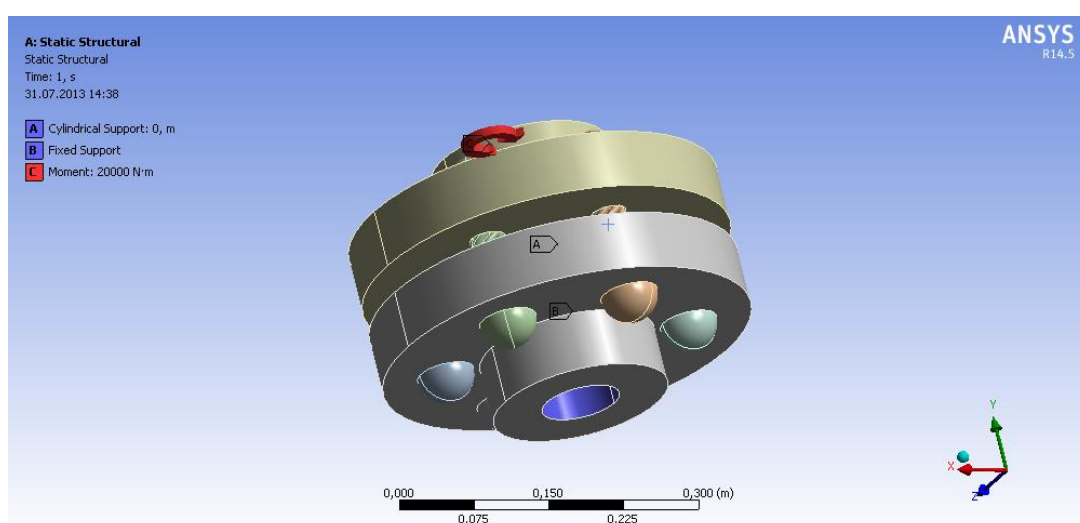
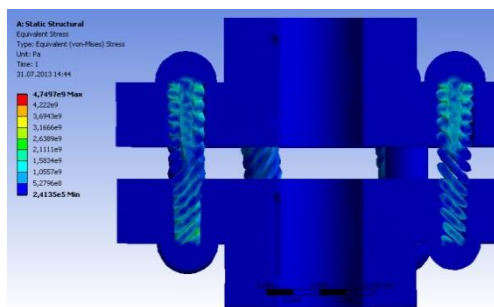


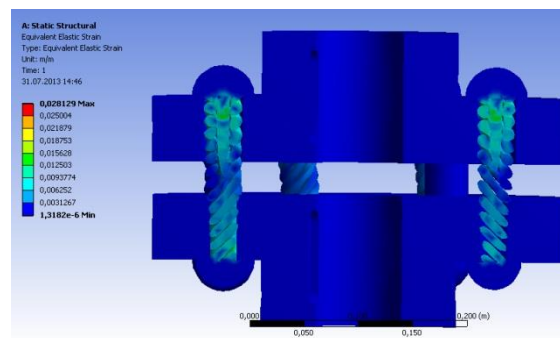
Рисунок 45 — Пример задания граничных условий на модель расчета

## 5.4 Анализ полученных результатов

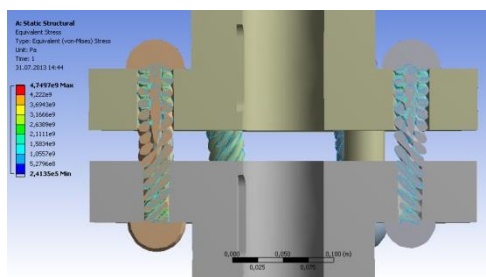
Из нормативной документации каната известно, что напряжение на разрыв каната составляет 1900 МПа. Проведенный анализ напряженно-деформированного состояния модели муфты показал, что уровень напряжений, возникающих в канате при нагружении муфты, не превышает значения 1400 МПа, что составляет 87,5 процента от допустимого значения. Относительная деформация канатов составляет 1,5 – 2 процента. Графическое представление полученных на рисунке 46. Направление витков каната предпочтительно выбирать по направлению «закручивания» каната при вращении муфты.



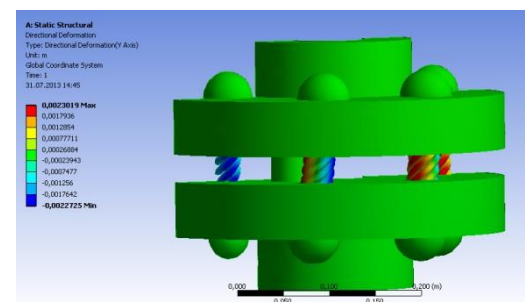
а)



б)



в)



г)

а) распределение эквивалентных напряжений по Вон-Мизесу;

б) распределение деформаций по Вон-Мизесу;

в) картина изолиний нагруженной модели;

г) картина общих деформаций в конструкции муфты

Рисунок 46 — Графическое представление полученных результатов

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович

Институт	ИПР	Кафедра	ТПМ
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ):	Оценка затрат на приобретение оборудования для изготовления детали «муфта».
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Нормативы расхода материалов на технологический процесс.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Налоговый кодекс РФ ФЗ-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка эффективности НТИ «Качество контактирующих поверхностей деталей машин и природа внешнего трения»	Обоснование перспективности разработки в целях повышения технико-экономических показателей.
2. Произвести расчет затрат научно-исследовательского проекта	1. Определение основных статей расходов на реализацию проекта; 2. Составление сметы затрат; 3. Формирование бюджета для проведения научно-исследовательского проекта.
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Оценка эффективности научного исследования.

## Перечень графического материала

1. Расчетные формулы
2. Таблицы:
– Технологический маршрут обработки
– Затраты на оборудование для производства муфты
– Амортизационные отчисления
– Надбавки и доплаты к заработной плате работника
– Расчет заработной платы работников
– Расчет страховых взносов
– Общие затраты
3. Рисунок – Распределение затрат на изготовление детали «муфта»

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Шарф И.В.	к.э.н., доцент		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович		

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

«Экономический расчёт стоимости производства муфты вала асинхронного двигателя»

В магистерской диссертации был произведен расчет муфты канатного типа, для оценки ее эффективности при работе в производственных условиях.

Деталь «канатная муфта» относится к классу «Упругих компенсирующих муфт» и предназначена для передачи крутящего момента асинхронного двигателя.

Заготовка детали может быть получена отливкой, прокатом или штамповкой.

Деталь представляет собой цилиндр с фланцем заданного диаметра, в котором сделаны технологические отверстия. Внутри цилиндра находится сквозное отверстие с расположенным на стенке шпоночным пазом.

Предположим, что годовая программа изготовления полумуфт 50000 шт. Полумуфта изготавливается из стали 45 ГОСТ 1050-74. Исходная твердость стали  $HВ\ 10^{-1} = 170\ МПа$ .

Операции, проводимые при изготовлении полумуфты, записываются в технологическую карту согласно ГОСТ 3.1418–82. Правила записи операций и переходов обработки резанием металлов изложены в ГОСТ 3.1702–79, а слесарных и слесарно-сборочных работ – в ГОСТ 3.1703–79. В таблице 6 обобщенно представлен технологический маршрут для изготовления нужного нам изделия.

Таблица 6 – Технологический маршрут обработки

№ операции	Наименование операции	Оборудование	Тшт, мин
05	Фрезерно-центровальная	Фрезерно-центровальный станок МР-71М	1,5

10	Токарная	Станок токарно-винторезный 16K20	11,6
15	Торцевкруглошлифовальная	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	3,8
20	Шпоночно-фрезерная	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	4,0
25	Центрошлифовальная	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	1,0
30	Сборочная	Гидравлический пресс П6320	2,0
35	Торцевкруглошлифовальная	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	3,8

Зная, какое количество времени каждая единица оборудования задействована в технологическом процессе изготовления, сделаем вывод о количестве требующегося оборудования для каждой операции.

### 6.1 Расчет стоимости оборудования

Расчет стоимости необходимого оборудования для изготовления полумуфты вала асинхронного двигателя представлен в таблице 8

Произведем расчет необходимого количества оборудования, для того чтобы узнать сколько его единиц требуется для непрерывного процесса производства.

Требуется произвести расчет действительного фонда времени работы оборудования, с целью выяснения количества часов наработки в году:

$$F_d = (D_k - D_v - D_p) \times F_{cm} \times K_{cm} \times K_p; \quad (26)$$

где  $D_k$  – количество календарных дней в году;

$D_v$  – количество выходных дней в году;

$D_p$  – количество праздничных дней в году;

Фсм – сменный фонд времени работы оборудования;

Ксм – количество смен;

Кр – коэффициент, учитывающий потери времени на ремонт.

$$F_d = (366 - 104 - 11) \times 8 \times 3 \times 0,95 = 5722,8 \text{ часов}$$

Далее производится расчет количества оборудования по технологическим операциям, отталкиваясь от которого будет сделан вывод о количестве единиц оборудования, требуемых для процесса производства:

$$C_p = (V_{год} \times T_{шт}) / (F_d \times K_{вн}), \quad (27)$$

где  $V_{год}$  – годовая программа выпуска;

$T_{шт}$  – штучное время;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения норм.

$$C_{п05} = (50000 \times 1,5) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,2$$

Принимаем  $C_{п05} = 1$  станок

$$C_{п10} = (50000 \times 11,6) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 1,5$$

Принимаем  $C_{п10} = 2$  станка

$$C_{п15} = (50000 \times 3,8) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,5$$

Принимаем  $C_{п15} = 2$  станка

$$C_{п20} = (50000 \times 4) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,52$$

Принимаем  $C_{п20} = 1$  станок

$$C_{п25} = (50000 \times 1) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,13$$

Принимаем  $C_{п25} = 1$  станок

$$C_{п30} = (50000 \times 2) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,26$$

Принимаем  $C_{п30} = 1$  станок

$$C_{п35} = (50000 \times 3,8) / (60 \times 5722,8 \times 1,1) = 0,5$$

Принимаем  $C_{п35} = 1$  станок

Полученные данные далее будут использованы для расчета затрат на закупку требуемого оборудования для производства полумуфт (таблица 7).

Таблица 7 – Затраты на оборудование для производства полумуфты

№	Наименование	Единица измерения	Количество	Стоимость, руб.
---	--------------	-------------------	------------	-----------------

1	Фрезерно-центровальный станок МР-71М	шт	1	200000
2	Станок токарно-винторезный 16К20	шт	2	400000
3	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	шт	2	500000
4	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	шт	1	300000
5	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	шт	1	250000
6	Гидравлический пресс П6320	шт	1	350000
Итого				2000000

Отталкиваясь от полученной стоимости оборудования, появляется возможность узнать сумму амортизационных отчислений, требующуюся для его содержания на производстве.

## 6.2 Расчет амортизационных отчислений оборудования

Затраты определяются исходя из балансовой стоимости основных производственных фондов и нематериальных активов и утвержденных в установленном порядке норм амортизации, учитывая ускоренную амортизацию их активной части. Нормы амортизации выбираем согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 07.07.2016) "О Классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы".

Выбираем значения норм в процентах в зависимости от мощности и типа станка. Расчет амортизационных отчислений можно свести в таблицу 8.

Таблица 8 – Амортизационные отчисления

№	Наименование	Норма амортизации, %	Ежегодная сумма амортизационных отчислений, руб.	Амортизационные отчисления за 5722,8 часов работы
1	Фрезерно-центровальный	6,7	13400	8933

	станок МР-71М			
2	Станок токарно-винторезный 16К20	6,7	26800	17866
3	Полуавтомат круглошлифовальный 3М150	12,5	62500	41666
4	Станок вертикальный консольный шпоночно-фрезерный 6Д91	12,5	37500	25000
5	Центровой круглошлифовальный станок 3У132	6,7	31250	20833
6	Гидравлический пресс П6320	7,7	26950	17966
Итого				132264

Таким образом, мы посчитали полную стоимость покупки и содержания оборудования для производства, требующегося нам количества изделий «полумуфта»

### **6.3 Затраты на основные материалы (Ст45) требующиеся для изготовления детали «полумуфта»:**

Расчет затрат на закупку материала Ст45 будет произведен исходя из формулы:

$$M = C \times M_z, \quad (28)$$

где  $C$  – цена материала, руб/кг;

Цену килограмма металлопроката материала СТ 45 примем по средней рыночной цене 4,5 рубля.

$M_z$  – масса заготовки, кг.

Масса заготовки из проката Ст45 для требуемой нам муфты, исходя из ГОСТ 21424-93 будет равна 400 килограмм.

$$M = 4,5 \times 400 = 1800 \text{ руб.}$$

$$1800 \times 50000 = 90000000 \text{ руб.}$$



Исходя из расчета, можно сделать вывод о стоимости закупки материала, из которого будет изготавливаться изделие «полумуфта».

#### **6.4 Расчет заработной платы**

К расходам на оплату труда относятся:

- суммы, начисленные по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда;
- премии за производственные результаты, надбавки к тарифным ставкам и окладам за профессиональное мастерство и др;
- начисления стимулирующего или компенсирующего характера – надбавки за работу в ночное время, в многосменном режиме, совмещение профессий, работу в выходные и праздничные дни и др;
- надбавки по районным коэффициентам и за работу в районах Крайнего Севера, районный коэффициент составляет 1,7%, а северная надбавка 80%.
- суммы платежей (взносов) работодателей по договорам обязательного и добровольного страхования.

Расчет суммы, начисленной по тарифным ставкам, должностным окладам, сдельным расценкам или в процентах от выручки от реализации продукции (работ, услуг) в соответствии с принятыми на предприятии (организации) формами и системами оплаты труда.

Таблица 9 – Надбавки и доплаты к заработной плате работника

Районный коэффициент	1,7
Северная надбавка	0,8

Доплата за вредность	1,04
----------------------	------

Таким образом, с учетом показателей в (таблица 9), а также количества используемой техники рассчитывается количество работников, необходимых для изготовления полумуфты, и затраты на их заработную плату. Результаты приведены в (таблице 10).

Требуется произвести расчет действительного фонда времени работы персонала, с целью выяснения количества оплачиваемых часов в году

Расчет действительного фонда времени работы персонала:

$$F_{др} = (D_k - D_v - D_p - O - H) \times F_{см}, \quad (29)$$

где  $O$  – количество дней отпуска;  $H$  – количество дней невыходов на работу по уважительным причинам;  $F_{см}$  – продолжительность смены.

$$F_{др} = (366 - 104 - 11 - 30 - 5) \times 8 \times 3 = 5184 \text{ часов}$$

Зная количество оплачиваемых работникам часов, определяется сумма заработной платы, требуемая на процесс производства (таблица 10).

Таблица 10 – Расчет заработной платы работников за время работы

	Фрезеровщик 4 разряда	Токарь 5 разряда	Шлифовальщик 5 разряда	Прессовщик 3 разряда
Часовая тарифная ставка	39,4	42,5	43,4	38,7
Районный коэффициент, руб.	66,98	72,25	73,78	65,79
Северная надбавка, руб.	31,52	34	34,72	30,96
Доплата за вредность, руб.	40,976	44,2	45,136	40,248
Итого, руб./час	178,876	192,95	197,036	175,698
Количество рабочих	3	6	5	1
Время работы	5184	5184	5184	5184
Итого, руб.	2781740	6001517	5107173	910818
Общая сумма ЗП, руб.	14801248			

Исходя из подсчетов, проведенных в таблице 10, получаем общую сумму заработной платы работником за год. Отталкиваясь от данных результатов, производится расчет страховых взносов.

### 6.5 Расчет страховых взносов во внебюджетные фонды

Затраты на страховые взносы в Пенсионный фонд, Фонд социального страхования, Фонд обязательного медицинского страхования представлены в таблице 11. Рассчитывая затраты на страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, выбираем согласно [У] класс XII с тарифом 1,3 для производства прочих готовых металлических изделий (код по ОКВЭД - 28.75).

Таблица 11 – Расчет страховых взносов

Показатель	Основная заработная плата
ЗП, руб.	14801248
ФСС (2,9%)	429236
ФОМС (5,1%)	754864
ПФР (22%)	3256275
Страхование от несчастных случаев (тариф 1,3%)	192416
Всего, руб.	4632791

Затраты на страховые взносы при изготовлении детали «полумуфта» составят 4632791 руб.

Все рассчитанные показатели сведем в общую таблицу расходов 12.

Таблица 12 – Общие затраты

Состав затрат	Сумма затрат, руб.
1. Материальные затраты	2000000

2. Затраты на оплату труда	14801248
3. Страховые взносы во внебюджетные фонды	4632791
4. Амортизационные отчисления	132264
Итого основные расходы	21566303
Накладные расходы (16% от основных)	3450609
Всего затраты на мероприятие	25016912

Расчет общих затрат 215663,03 руб. показал, что основной их частью будет являться заработная плата работникам и страховые взносы во внебюджетные фонды. Материальные затраты и амортизационные отчисления составят 10% от общих затрат (рисунок 47).



Рисунок 47 – Распределение затрат на изготовление детали «полумуфта»

По проведенным расчетам можно сделать вывод, что для изготовления 50000 деталей «полумуфта» из марки стали Ст 45 требуются затраты в объеме 20659988,6 рублей. Таким образом промышленное производство полумуфт канатного типа оправдывает затраты на него. Учитывая потребности в данном типе узлов агрегатов можно сделать вывод о экономической эффективности предполагаемого производства.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Магистранту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2БМ5Е	Севостьянову Андрею Олеговичу

<b>Институт</b>	<b>Природных ресурсов</b>	<b>Кафедра</b>	<b>ТПМ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Нефтегазовое дело

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>В качестве персонала рассматривается машинист технологических установок. Рабочим местом машиниста является пульт управления.</i>
--	---

### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<b>1. Производственная безопасность</b>  1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<i>Анализ опасных и вредных факторов: 1. анализ и требования, предъявляемые к уровню шумов; 2. требования к естественному освещению; 3. требования к искусственному освещению; 4. защита от механических факторов опасности; 5. требования безопасности в аварийных ситуациях.</i>
<b>2. Экологическая безопасность:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<i>Оценка воздействия месторождения на состояние земельных ресурсов, атмосферный воздух, состояние поверхностных вод. Характеристика месторождения как источника образования отходов производства и потребления. Комплекс мер по охране окружающей среды.</i>
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<i>Возможные ЧС: пожары; открытые фонтаны; порывы, разливы нефти;</i>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul>	<i>1. Особенности законодательного регулирования проектных решений. 2. Охрана труда женщин и подростков. 3. Работа с вредными и (или) опасными условиями труда.</i>

– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	4. Работа в ночное время. 5. Применение спецодежды и СИЗ. 6. Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания. 7. Надзор за охраной труда.
---	--

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Кырмакова Ольга Сергеевна			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович		

## **7 Социальная ответственность**

В данной дипломной работе проектируется канатная муфта для вибрационной защиты насосного и компрессорного оборудования применяемого в нефтегазодобывающей отрасли производства. В связи с этим данный раздел ВКР посвящен анализу возможных опасных и вредных факторов при работе на производствах связанных с перекачиванием нефти.

В качестве персонала рассматриваются машинисты и слесаря по обслуживанию технологических установок. Насосы установлены в специальных блоках, в закрытом помещении.

Работу персонал выполняет в основном стоя. Следит за плавностью подачи насоса, отсутствием посторонних шумов при работе насоса и утечек нефти. Регламентированные перерывы- 3% от рабочего времени.

Также в его обязанности входит приготовление промывочной жидкости, ежечасные замеры плотности и вязкости флюида.

Основной целью раздела является рассмотрение оптимальных норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

### **7.1 Производственная безопасность**

#### **Анализ опасных и вредных факторов**

Вопросам охраны труда в конституции Российской Федерации отводится особое место. В ней говорится, что Российское государство заботится об улучшении условий и охране труда, его научной организации о сокращении, а в дальнейшем и полном вытеснении тяжелого физического труда на основе комплексной механизации и автоматизации производственных процессов во всех отраслях народного хозяйства.

Требование к искусственному освещению в производственных цехах.

### Анализ и требования, предъявляемые к уровню шумов.

С физиологической точки зрения шум рассматривается как звук, мешающий разговорной речи и негативно влияющий на здоровье человека. Шум является одним из наиболее распространенных в производстве вредных факторов. Люди, работающие в условиях повышенного шума, жалуются на быструю утомляемость, головную боль, бессонницу. У человека ослабляется внимание, страдает память. Все это приводит к снижению производительности труда.

Шум на рабочих местах создается работающим оборудованием, а также проникает извне.

Настоящий стандарт (ГОСТ 12.1.028) распространяется на машины, технологическое оборудование и другие источники шума, которые создают в воздушной среде все виды шумов по ГОСТ 12.1.003-83.

Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах, в октавных полосах частот, который сравнивают с предельным спектром, приведены в таблице 13(таблица дана в сокращении).

Таблица 13 - Допустимые уровни звукового давления и уровня звука на рабочих местах

Рабочие места	Уровни звукового давления, дБ, в октавных Полосах со среднегеометрич. Частотами, Гц								Уровни звука, дБ
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
(1)	71	61	54	49	45	42	40	38	50
(2)	79	70	63	58	55	52	50	49	60
(3)	83	74	68	63	60	57	55	54	65
(4)	94	87	82	78	75	73	71	70	80
(5)	99	92	86	83	80	78	76	74	85

- (1) - помещение конструкторских бюро, лаборатории для теоретических работ;
- (2) - помещения управлений, рабочие комнаты;
- (3) - кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой телефонной связью, помещение и участки тонкой сборки;



(4) - лаборатории для проведения экспериментальных работ;

(5) - постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятий.

Уровень шумов от насосных агрегатов и другого оборудования, используемого при работе, незначительный. В данном конкретном случае его уровень определяется только работой насосов и установки энергокомплекса и составляет 80 дБ, что соответствует нормам определенным вышеуказанным ГОСТом.

### **Защита от механических факторов опасности**

Оградительные (защитные) устройства исключают возможность случайного проникновения человека в опасную зону. Их устанавливают между опасной зоной и рабочей. Они подразделяются: по конструктивному исполнению - на кожухи, дверцы, щиты, козырьки, планки, барьеры и экраны; по способу изготовления - на сплошные, несплошные (перфорированные, сетчатые, решетчатые) и комбинированные; по способу установки - на стационарные и передвижные. Требования безопасности к конструкции и применению защитных ограждений приведены в ГОСТ 12.2.062-81.

Устройства дистанционного управления обеспечивают управление оборудованием или технологическим процессом человеком, находящимся за пределами опасной зоны. Это кардинально повышает безопасность рабочих. При этом наблюдения за оборудованием ведутся непосредственно, либо с помощью систем телеметрии и телевидения. По конструктивному исполнению эти устройства подразделяются на стационарные и передвижные, а по принципу действия - на механические, электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

### **Требования безопасности в аварийных ситуациях**

При обнаружении неисправности немедленно обесточить

электрооборудование, оповестить администрацию. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.

При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно сообщить об этом администрации, принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.

Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача. До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

Необходимо немедленно начать производить искусственное дыхание, наиболее эффективным из которых является метод «рот в рот» или «рот в нос», а также наружный массаж сердца.

Искусственное дыхание пораженному электрическим током производится вплоть до прибытия врача.

На рабочем месте запрещается иметь огнеопасные вещества в помещениях запрещается:

- а) зажигать огонь;
- б) включать электрооборудование, если в помещении пахнет газом;
- в). курить;
- г) сушить что-либо на отопительных приборах;
- д) закрывать вентиляционные отверстия в электроаппаратуре.

Источниками воспламенения являются:

- а. искра при разряде статического электричества;
- б. искры от электрооборудования;
- в. искры от удара и трения; г. открытое пламя.

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара персонал должен немедленно принять необходимые меры для его ликвидации, одновременно оповестить о пожаре администрацию.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены

огнетушителями типа ОУ-2 или ОУБ-3.

## **7.2 Экологическая безопасность**

Воздействие нефтяной и газовой промышленности на основные компоненты окружающей среды (воздух, воду, почву, растительный, животный мир и человека) обусловлено токсичностью природных углеводородов, их спутников, большим разнообразием химических веществ, используемых в технологических процессах, а также все возрастающим объемом добычи нефти и газа, их подготовки, транспортировки, хранения, переработки и широкого разнообразного использования.

При добычных процессах нефти и природного газа в окружающую среду поступает большое количество загрязняющих веществ различной степени токсичности, которые оказывают значительный вред всем компонентам окружающей среды.

Постоянными источниками загрязнения атмосферы, почвы, подземных и поверхностных вод являются шламовые амбары, которые представляют собой природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов эксплуатации нефтяных скважин.

К основным загрязнителям сточных вод относятся густые смазки, смазочные масла, антифриз и тосол, нефть, отходы производства, содержащие все химические соединения.

Причины опасного загрязнения растворами водоемов связаны с разливами нефти, порывами трубопроводов, сбросом флюида находящегося в системе в овраги и водоемы, перетоками их по поглощающим горизонтам (пластам) и др.

Загрязнение территории вокруг производственных цехов можно значительно снизить установкой специально отведенных шламовых амбаров. На участках, выделенных для размещения нефтеперекачивающих установок, плодородный слой земли снимают и складывают.

Для предотвращения загрязнения окружающей среды горюче – смазочными материалами дизельное топливо и другие, горюче – смазочные вещества, необходимые для работы установки, хранят в специальных емкостях.

При строительстве скважин загрязнение атмосферного воздуха вредными веществами происходит на всех этапах строительства.

Снижение выбросов вредных веществ в атмосферу от неорганизованных источников обеспечивается герметизацией циркуляционной системы добычных комплексов, герметизацией емкостей для сбора и подготовки нефти и газа, системы сбора и очистки вод, выделенных сепарированием из флюида.

### **7.3 Защита селитебной зоны**

Расположение производственной территории относительно селитебной зоны:

- При проектировании зоны необходимо обеспечить защиту селитебной территории от загрязнения промышленными газами, отходами, сточными водами.
- Промышленные предприятия должны быть удалены от селитебной территории на расстояние, соответствующее степени вредности предприятия.

В соответствии с Санитарными Нормами 245-71, в зависимости от вида производства, выделяемых вредных выбросов и условий технического процесса установлена протяженность санитарно-защитной зоны.

Территория санитарно-защитной зоны должна быть благоустроена и озеленена по проекту благоустройства, разрабатываемому одновременно с проектом строительства или реконструкции предприятия.

С целью уменьшения загрязнения атмосферного воздуха вредными веществами, выделяемыми стационарными источниками: котельной, двигателями внутреннего сгорания дизельных электростанций, факельными блоками размещение их осуществляется с учетом господствующего направления ветра.

## **7.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

### **Пожары**

Опасность пожаров и взрывов на производственных объектах нефтегазодобывающей промышленности характерна для всех технологических процессов начиная от добычи нефти, газа или конденсата и заканчивая их переработкой. По взрыво- и пожароопасности объекты нефтяной и газовой промышленности относятся к категории «А».

Причины взрывов и пожаров могут быть различны:

- пропуски дизельного топлива, разливы нефтепродуктов и горючих веществ;
- нарушение герметичности выхлопных коллекторов двигателей, неисправность искрогасителей;
- применение открытого огня, курение, проведение сварочных работ вблизи мест хранения нефти, горюче-смазочных материалов, сгораемых конструкций и горючих веществ;
- неисправности электрооборудования, вызывающие искрение, короткое замыкание, нагрев проводов;
- перегрузка электрических приборов, оборудования.

Добычная установка должна быть оборудована следующими средствами пожаротушения:

- пожарными стояками диаметром 50-60 мм;
- пожарными рукавами и двумя переводниками диаметром 50-60 мм;
- огнетушителями ОХП-10, ящиками с песком емкостью 0,5м<sup>3</sup>, пожарными щитами, оборудованными лопатами, ломом, топорами, баграми, ведрами.

## **7.5 Порывы, разливы нефти**

Ликвидация разливов нефти и подтоварной воды производится в следующей последовательности: тщательный осмотр места аварии, для

определения объемов, характера и порядка необходимых работ; доставка технических средств к месту разлива нефти; локализация нефтяного загрязнения, включающая в себя оконтуривание нефтяного загрязнения; максимально возможный сбор свободной нефти с рельефа.

Восстановление продуктивности нефтезагрязненных земель, состав и порядок работ:

- 1) первичное обследование нефтезагрязненных участков (отбор проб почвы (воды), определение границ разлива нефти;
- 2) оценка степени загрязнения почв нефтью;
- 3) выбор соответствующих технологических мероприятий;
- 4) реализация намеченного комплекса работ и текущий контроль за эффективностью выполняемых мероприятий;

По окончании работ проводится сдача рекультивированных участков контролирующим органам.

Помимо ЧС, связанных с работой оборудования, могут возникнуть ЧС другого характера:

- ЧС стихийного характера (землетрясение, наводнение, ураган и др.);
- ЧС экологического характера (деградация почвы, изменение состояния гидросферы, недостаток кислорода, разрушение озонового слоя и др.);
- ЧС социального характера (шантаж, мошенничество, террор, заложничество, суицид, высокий уровень бедности, нехватка продовольствия и др.).

## **7.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Правильное расположение рабочего места – один из важных факторов, обеспечивающих как безопасность человека, так и высокую производительность его труда.

Рабочее помещение должно иметь естественное и искусственное освещение. В качестве источников света при искусственном освещении следует применять преимущественно люминесцентные лампы и компактные люминесцентные лампы.

### **Маркировка опасных зон**

Нормативными документами в сфере маркировки опасных зон утверждены четыре сигнальных цвета (красный, желтый, зеленый, синий) и около полутора сотен знаков безопасности. В ряде случаев устанавливается контрастное чередование полос сигнального цвета с белым или черным.

Визуализация опасности посредством знаков – наиболее простой, дешевый и действенный способ предотвращения несчастных случаев, снижения уровня травматизма, устранения опасности для жизни и здоровья работников, а также угрозы возникновения пожаров или аварий.

На отдельных видах работ предусматривается предоставление работникам в течение рабочего времени специальных перерывов, обусловленных технологией и организацией производства и труда. Виды этих работ, продолжительность и порядок предоставления таких перерывов устанавливаются правилами внутреннего трудового распорядка. Работникам, работающим в холодное время года на открытом воздухе или в закрытых необогреваемых помещениях, а также грузчикам, занятым на погрузочно-разгрузочных работах, и другим работникам в необходимых случаях предоставляются специальные перерывы для обогрева и отдыха, которые включаются в рабочее время. Работодатель обязан обеспечить оборудование помещений для обогрева и отдыха работников.

## **7.7 Особенности законодательного регулирования проектных решений**

Любое предприятие должно надлежащим образом исполнять федеральное законодательство и нормативные правовые акты, регулирующие государственное управление в области безопасности жизнедеятельности, защиты окружающей среды и чрезвычайных ситуаций.

## **7.8 Охрана труда женщин и подростков**

Запрещается применение труда женщин на тяжелых работах и на работах с вредными условиями труда, а также на подземных работах, кроме некоторых подземных работ (не физические работы или работы по санитарному и бытовому обслуживанию).

Не допускается прием на работу лиц моложе 15 лет. Запрещается применение труда лиц моложе 18 лет на тяжелых работах и на работах с вредными и опасными условиями труда, а также на подземных работах.

Несовершеннолетние (лица, не достигшие 18 лет) в области охраны труда, рабочего времени, отпусков и некоторых других условий труда пользуются льготами, установленными трудовым законодательством.

## **7.9 Работа с вредными и (или) опасными условиями труда**

Действующая с 1 января 2014 г. редакция ТК РФ определяет, что работникам, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, положены следующие гарантии и компенсации:

- 1) сокращенная продолжительность рабочего времени с возможностью выплаты денежной компенсации за работу в пределах общеустановленной 40-часовой рабочей недели (ст. 92 ТК РФ);



- 2) ежегодный дополнительный оплачиваемый отпуск работникам с возможностью выплаты компенсации за часть такого отпуска, превышающую минимальную продолжительность (ст. 117 ТК РФ);
- 3) повышенная оплата труда работников (ст. 147 ТК РФ).

### **7.10 Работа в ночное время**

По общему правилу трудовая деятельность должна осуществляться днем, когда организм человека находится на пике активности. Именно в этот период труд наиболее производителен и безопасен для окружающих и самого работника. Но в современных условиях ограничиться только дневной работой невозможно. По самым разным причинам возникает необходимость привлекать сотрудников к выполнению их обязанностей в ночное время. Эта работа связана с неблагоприятным воздействием на организм человека, и законом таким работникам гарантируется щадящий режим и повышенная оплата труда.

### **7.11 Применение спецодежды и СИЗ**

Основной регламентирующий документ о применении СИЗ и спецодежды это ТК РФ. Он вносит определение спецодежды как таковой, средств индивидуальной и коллективной защиты, определение вредного и опасного производственных факторов. ТК обязывает работодателя обеспечивать для работников безопасные условия труда, бесплатную выдачу спецодежды, специальной обуви и других СИЗ. ТК закрепляет права и гарантирует работникам право на безопасный труд.

## **7.12 Применение спецпитания и особого лечебно-профилактического обслуживания**

Лечебно-профилактическое питание - это специально подобранные рационы питания, способствующие предупреждению нарушения обмена веществ под действием вредных профессиональных факторов.

В рацион рабочих вредных профессий включаются пищевые вещества:

- обладающие антидотными свойствами
- ускоряющие или замедляющие превращение в организме токсичных веществ или продуктов их метаболизма
- ускоряющие выведение токсичного вещества из организма
- тормозящие процессы всасывания токсичного вещества в кишечник.

## **7.13 Надзор за охраной труда.**

Основным органом государственного надзора и контроля за состоянием охраны труда является Федеральная служба по труду и занятости. В ее структуру входят Управление надзора и контроля за соблюдением законодательства о труде, территориальные органы по государственному надзору и контролю за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, государственные инспекции труда субъектов Российской Федерации. Эта система осуществляет надзор и контроль за соблюдением российского законодательства о труде и охране труда, нормативных актов о возмещении вреда, причиненного здоровью работника, о социальном страховании и выполнении коллективных договоров на предприятиях, в учреждениях и организациях независимо от формы собственности.

## **Заключение**

В процессе работы был проведен в качестве ознакомления литературный обзор, включающий в себя получившие наибольшее распространение , в реальных условиях эксплуатации, виды муфт. Были описаны их конструкционные особенности и схемы монтажа. Кроме этого кратко представлены их характеристики, достоинства и недостатки всех видов конструкций, описана область их применения, и представлены расчеты к наиболее интересным видам муфт.

Исходя из анализа, материала, была предложена не встречающаяся в промышленности конструкция муфты, а именно модель канатной муфты, представляющая собой две полумуфты с технологическими отверстиями для стальных канатов и самих стальных канатов, в качестве демпфирующих элементов муфты.

Для подтверждения теории был произведен расчет напряженно-демпфированного состояния муфты в период пиковых нагрузок, с учетом прочностных характеристик заданных материалов. Работа проводилась с использованием программного комплекса метода конечных элементов Ansys.

На основе проведенного расчета, можно сделать вывод, что данная модель канатной муфты является жизнеспособной, и может применяться в реальном процессе производства. Учитывая большое количество достоинств, основными из которых являются: простота монтажа, дешевизна при изготовлении и высокие демпфирующие способности, такого рода изделие может принести несомненную пользу для рабочего процесса.

## **Список публикаций**

1. Анализ напряженно-деформированного состояния тросового демпфера методом конечных элементов. Авторы: Ю.В. Ниденц, А.О. Севостьянов, Научный руководитель: К.К. Манабаев

## Список использованных источников

1. А.Г. Гумеров, Виброизолирующая компенсирующая система насосно – энергетических агрегатов. – Уфа, 2008. – 328 с.
2. Официальный сайт ОАО «ВИНИИАЭН» [Электронный ресурс]  
<http://www.vniiaen.sumy.ua>
3. РД 153 – 39ТН – 008 – 96 Руководство по организации эксплуатации и технологии и технического обслуживания и ремонта оборудования и сооружение нефтеперекачивающих станций
4. РД 153 – 39ТН – 009 – 96 Положение о системе технического обслуживания и ремонта электроустановок магистральных нефтепроводов. Часть II
5. Рудаченко А.В., Рудаченко В.А., Техническая диагностика оборудования нефтегазопроводов. Учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» - Томск: Изд-во. ТПУ, 2007 – 104 с.
6. Панкратов А.В., Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. Методические указания по выполнению практических работ для студентов очного обучения направления 130500. Томск: Изд-во. ТПУ, 2005 – 41 с.
7. Официальный сайт ГУП «ИПТЭР», [Электронный ресурс]  
[www.ipter.bashedu.ru](http://www.ipter.bashedu.ru)
8. Каталог электродвигателей, ОАО «Электротехническая корпорация»
9. Айрапетов Э.Л., Биргер И.А., Вейц В.Л., Колебания машин, конструкций и их элементов. Том 3. Справочник в 6 томах. Вибрации в технике

- Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р., Курс теоретической механики: Учебник. В 2-х томах. Т. II.: Динамика
10. Балыгин В.В., Крыжановский А.Н. НАСОСЫ: Каталог-справочник. - Новосибирск: НГАСУ, 1999. – 97 с.
  11. Корж В.В. Эксплуатация и ремонт оборудования насосных и компрессорных станций [Текст]: учеб. пособие / В.В. Корж, А.В. Сальников. - Ухта : УГТУ, 2010. - 184 с.
  12. Дейнеко С. В. Обеспечение надежности систем трубопроводного транспорта нефти и газа. — М.: Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП, 2011. — 176 с.
  13. Насосное оборудование для трубопроводного транспорта нефти нефтепродуктов, ОАО «Группа ГМС»
  14. Трофимов А.Н. Концепция обратной связи в динамике механических систем и процессы динамического гашения колебаний // автореф. дис. д-ра. техн. наук. /А.Н. Трофимов. Иркутск, 2006. – 169 с.
  15. Бойченко С. Н. Контроль и мониторинг технического состояния насосного агрегата по спектральным параметрам вибрации // дис. канд. техн. наук. / С.Н. Бойченко. Омск, 2006. – 169 с.
  16. Чан Ван Бинь. Разработка методов анализа и применения автопараметрического гашения колебаний // дис. канд. техн. наук. / Чан Ван Бинь. Москва, 2008. – 138 с.
  17. Смирнов В.П. Динамика технологических вибрационных машин с вращающимися дебалансами системы виброзащиты // дис. канд. техн. наук. / В.П. Смирнов. Старый Оскол, 2006. – 166 с.

18. Драч М.А. Динамический синтез и моделирование в задачах оценки и изменения вибрационного состояния крутильных колебательных систем // дис. канд. техн. наук. / М.А. Драч. Иркутск, 2006. – 182 с.
19. Салек Самер. Демпфирование резонансных колебаний гироскопических систем динамическим гасителем переменной структуры // дис. канд. техн. наук. / Салек Самер. Москва, 2005. – 200 с.
20. Степанова Е.П. Разработка динамических гасителей угловых колебаний с дополнительными связями // дис. канд. техн. наук. / Е.П. Степанова. Омск, 2002. – 176 с.
21. Тараторкин И.А. Прогнозирование вибронагруженности дотрансформаторной зоны трансмиссий транспортных машин и синтез гасителей крутильных колебаний // дис. канд. техн. наук. / И.А. Тараторкин. Курган, 2003. – 197 с.
22. Костюков А.В. Контроль и мониторинг технического состояния центробежного насосного агрегата по трендам вибропараметров // дис. канд. техн. наук. / А.В. Костюков. Омск, 2006. – 203 с.
23. Банина Н.В. Структурные методы динамического синтеза колебательных механических систем с учетом особенностей физических реализаций обратных связей // дис. канд. техн. наук. / Н.В. Банина. Иркутск, 2006. – 198 с.
24. Самоленков С.В. Обоснование энергосберегающих режимов работы нефтеперекачивающих центробежных насосов с регулируемым приводом // автореф. дис. д-ра. техн. наук. / С.В. Самоленков. Санкт-Петербург, 2014. – 113 с.
25. Костюков В.Н. Разработка элементов теории, технологии и оборудования систем мониторинга агрегатов нефтехимических комплексов // дис. д-ра. техн. наук. / В.Н. Костюков. Омск, 2000. – 433с.

26. Каримов И.Р. Исследование контактного взаимодействия пластины и оболочки в программном комплексе ANSYS // выпускная квалификационная работа / И.Р. Каримов. Казань, 2014. – 89 с.
27. Палагушкин В.И. Активное управление строительными конструкциями при статических и вибрационных воздействиях // дис. канд. техн. наук. / В.И. Палагушкин. Красноярск, 2002. – 198 с.
28. Павлова З. Х. Обеспечение эффективности эксплуатации нефтеперекачивающих станций магистральных нефтепроводов при снижении их загрузки // дис. канд. техн. наук. / З.Х. Павлова. Уфа, 2002. – 158 с.
29. Генкин М.Д., Челомей В.Н. Вибрации в технике. Измерения и испытания. Том 5. Справочник в 6 томах. Машиностроение. Москва, 1981. – 496 с.
30. Фролов К.В., Авдусевский В.С. Вибрации в технике. Защита от вибрации и ударов. Справочник в 6 томах. Машиностроение. Москва, 1981. – 456 с.
31. Диментберга Ф.М., Колесников К.С. Вибрации в технике. Колебания машин, конструкций и их элементов. Справочник в 6 томах. Машиностроение. Москва, 1980. – 544 с.
32. Лавендел Э.Э., Артоболевский И.И. Вибрации в технике. Вибрационные процессы и машины. Справочник в 6 томах. Машиностроение. Москва, 1981. – 509 с.
33. Владимиров А.И., Кершенбаум В.Я. Испытания нефтегазового оборудования и их метрологическое обеспечение. Учебное пособие. Проспект. Москва, 2016. – 608 с.
34. Graham Kelly S. Mechanical vibrations. Si edition. The university of Akron, Seala, 2012. – 876 p.



- 35.Порожский К.П. Буровые комплексы. УГГУ, Екатеринбург, 2013. – 768 с.
- 36.Анашкин А.Е., Еникеев Е.Р. Справочник мастера по вышкостроению. ЦентЛитНефтеГАЗ, 2008. – 424 с.

## Приложение А

### Раздел 2 Обеспечение центровки агрегата

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2БМ5Е	Севостьянов Андрей Олегович		

Консультант кафедры ТПМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры Теоретической и прикладной механики	Светашков Александр Андреевич	Доктор физико-математических наук		

Консультант – лингвист кафедры ТПМ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор кафедры Теоретической и прикладной механики	Светашков Александр Андреевич	Доктор физико-математических наук		

## **2. Coupling providing centering unit.**

### **2.1 Compensating for misalignment.**

One of the most common defects in the pump rotor is a misalignment of the unit. The relative position of the centers of two adjacent rotor shaft, measured at the point of connection with the dismantled coupling, in practice, is usually characterized by the term "alignment". If the axes of the two shafts perfectly coincide, ie, one shaft is a continuation of the other - talk about good quality shaft alignment mechanisms in the unit. If the center lines of shafts do not match, then we say about the bad quality of the alignment and uses the term "misalignment of the two shafts." In general, the quality of the alignment of several mechanisms defined by the correctness of the shaft assembly line unit, controlled by the centers of the bearings supporting the shaft.

In practice, the quality of shaft alignment is not connected by the mutual coupling is completely geometric, spatial position of the supporting bearing liners or parameters mounting of rolling bearings in bearing pillars or shields.

There are two basic types of misalignment:

- Parallel (or radial);
- Angular (or end).

Parallel misalignment of shafts - this parallel mutual misalignment of neighboring rotors centered relative to each other. If there is a displacement of the supporting bearing at a small distance, which is in practice more often, as a result it will not be parallel misalignment and combined - + parallel corner.

Usually, in such cases, the maximum in the overall vibration will be a contribution from the parallel misalignment.

The fact is that resulting from the displacement of the bearing angle of a bend in its magnitude is less than one angular degrees, which is usually not very significant, and the shift shaft in the centering point can be a millimeter or more, that can significantly affect the operation of the unit. Naturally, the determining factor in the increase in vibration will be parallel misalignment, although it will be present and angular.

Angular misalignment - is a break in the axis of articulation shaft at an angle with a good combination of shafts centers around their ends. In the description of the angular misalignment often use the term "disclosure clutch." The basis of the angular misalignment of the name is a way to control the availability of this type of misalignment by measuring the clearances between the rollers at several points along the circumference.

Encountered in practice, cases of misalignment of shafts are almost always complex, composite, includes both the basic elements of both types of misalignment. As a result of ongoing diagnosis of the spectra of vibration signals detected most strongly manifests itself misalignment, in which the diagnosis is given and recommendations for elimination.

Causes of misalignments in running equipment a lot. This deterioration processes, the influence of process parameters, and modifying the base, bending under the influence of the piping temperature changes outside, mode change, etc. As known, the task of centering - set axle shafts so that they constituted a single straight line. The concept of the "axis" is in itself perfect, but in life we have to deal with real objects (parts of machines), which always have a manufacturing error. Therefore, to avoid off-center loads from rotating shafts, apply compensating couplings. They are able to transmit torque from the drive working body with a misalignment of shafts, compensating for the stresses arising its elastic elements.

Aircraft centering shaft assemblies set depending on the type of coupling and the operating speed of the unit rotor. Measuring base to control the alignment of the shafts themselves are surface coupling halves.

Standard documentation is required to be radial and axial misalignment. Radial misalignment is called mutual misalignment, and end misalignment determines the angle of inflection common axle shaft assembly. In general, there are two components located in the horizontal and vertical planes.

In most machines, working in the heat, apply clutch Elastic sleeve-finger (MUVP). For high-power machines used compensating gear couplings (MOH). The allowable radial misalignment  $R$  control by mutual displacement of the cylindrical

surfaces of the coupling halves and end - T - by the difference in the opening ends of the vertical and horizontal planes. For MH allowed  $R = 0,05$  mm and  $T = 0,04$  mm. For MUVP running with 1500 rpm synchronous speed. / Min,  $R = 0,12$  mm and  $T = 0,12$  mm, and for the frequency of 3000. / Min  $R = 0,05$  mm and  $T = 0,05$  mm.

## **2.2 Requirements couplings**

The compensating effect of the coupling depends on its actual condition. Therefore, prior to centering, ensure that the clutch meets specifications, the radial and axial runout relative to the rotation axis (usually no more than the rate of 0.05 ... 0.08 mm) and has a tight fit on the shaft (set assembly drawing). You also need to remember that you can only collect the coupling halves in a single mutual position (which was made boring). It is advisable to disassemble the coupling applied to the coupling halves tags that determine their relative position. Any of these defects coupling can affect the accuracy of alignment, but when the unit is lead to its violation.

## **2.3 orizontal mounting shaft**

Under the influence of its own weight and workloads shaft axis represents a smooth curve line. When the alignment of the unit is necessary to control the position of shaft relative to the horizon. The horizontal position should take the shaft with bearings. Can serve as a means of controlling the level of "Exploration" with 0.1 mm to 1 m. The control is made directly to the bearing journals or on the nearest flat surface of the shaft.

## **2.4 Means for controlling the alignment of**

Often without the necessary tools, mechanic to check the alignment applies to the clutch line and looking up to the light, determines the deviation of the shafts. But hope for a good eye in such an important matter recklessly, too many factors overlooked (accuracy of 0.1 mm). Although it should be noted that the master is not translated yet capable and thus center the unit. On the other hand, there are devices for centering the laser with built-in computer, having a precision of 0.001 mm, which

calculates the required displacement of the machine supports for optimal alignment of the shafts. But if you want to achieve precise centering and confidently meet the norm, not buying the device for \$ 10,000, you can use simple facilities - dial indicator "ICH 0.01" or plate probe, which give the accuracy of 0.01 mm, sufficient for compliance rate.

Device for centering units with gear couplings shown in Figure 29. In half-clutch, it is fixed with the clamp, and the initial gaps R and T are set by adjusting screws.

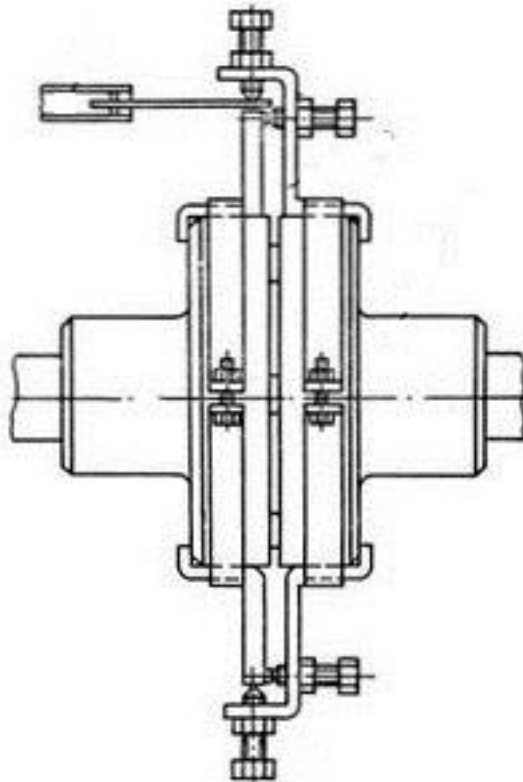


Figure 35 — Device for centering units with gear couplings

To measure the plate—probes that require a certain skill work. When measuring the gap should include a set of plates with a little effort and remain stationary without support. The measured size is calculated by the sum of the nominal thickness gauges. By analogy, the device can be made with a dial indicator. The use of indicators will greatly facilitate and accelerate the process of measuring the radial displacement. Disclosure ends probes measured directly between the coupling halves.

The simplest device for centering MUVF shown in Figure 36.

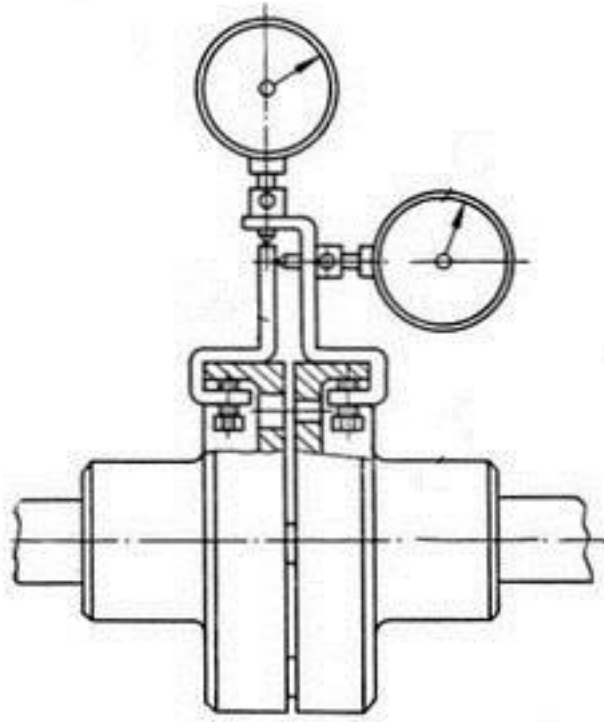


Figure 36 — The simplest device for centering MUVP

## 2.5 Methods centering unit

Before centering check the tightness of the bolts fastening the bearing housings and anchor bolts. Any loosening of the unit to the base, as well as cracks in the frame, differential settlement and the destruction of the foundation are able to disrupt the alignment of the unit while it is operating.

To check the shaft alignment device mounted on the coupling half and produce original measurements  $R$ ,  $T_1$  and  $T_2$ . Then, along the direction of rotating shafts in working rotation  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  and  $270^\circ$ , the measurement is repeated and recorded in the pie chart 25.

The joint rotation shaft is needed to avoid the influence of mechanical and radial runout on coupling half measure misalignment. (It is recommended to record the measurement corresponding to the position of the observer, in which he looks the part of the host to the motor.) Return the rolls to the starting position and check the initial measurement. Calculate the average values of equality and check sums  $R_{\text{с}} + R_{\text{н}} = R_{\text{н}} + R_{\text{л}}$  and  $T_{\text{с}} + T_{\text{н}} = T_{\text{н}} + T_{\text{л}}$ . Permitted disparity amounts - no more than

0.05 mm. Inequality more acceptable value indicates the inaccuracy of some measurements. The following is a testimony to zero by subtracting the minimum value of R and T from the rest. Thus it turns clear picture of misalignment of the unit.

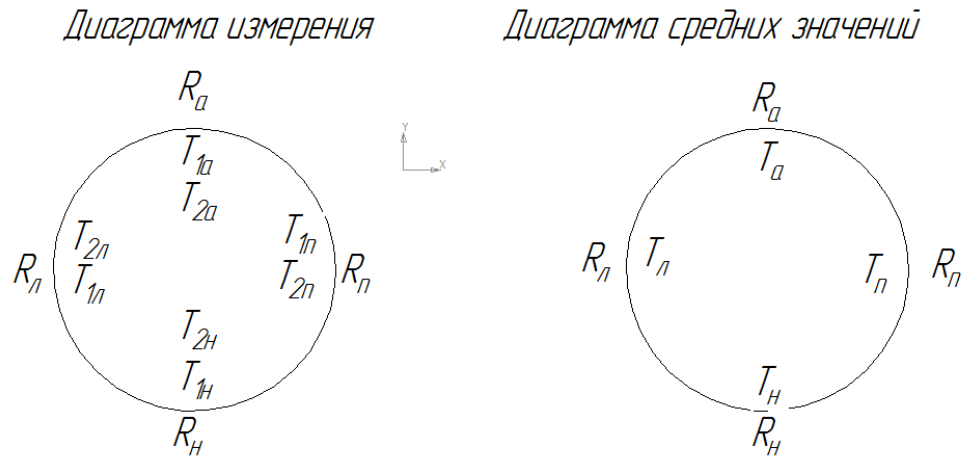


Figure 37 — Misalignment of the unit.

The actual misalignment is calculated as:

$$E_y = \frac{R_a + R_H}{2} \text{ — radial misalignment in the vertical plane;}$$

$$E_x = \frac{R_n + R_H}{2} \text{ — radial misalignment in the horizontal plane;}$$

$$S_y = \frac{T_a + T_H}{2} \text{ — end misalignment in the vertical plane;}$$

$$S_x = \frac{T_n + T_H}{2} \text{ — end misalignment in the horizontal plane.}$$

According to the results where appropriate position corrections performed axle shafts moving support. For most machines, the alignment is performed by moving the motor. In the vertical position is adjusted pads. Linings gain of metal plates and foil U-shaped, with dimensions of support strips must comply with the fluke surface motor. When you install the engine on the pads, check the fit pads



probes. The engine must stand on supports all paws. Tightness produce "criss-cross" at regular intervals. Otherwise, when tightening the fastening bolts will skew motor.

The horizontal drive is moved by special screws mounted on the frame.

Moving the axis of the motor shaft can be controlled by the movement of the coupling half, using aligners. It is necessary to establish a centering bracket in the position corresponding to the corrected measurement parameter of misalignment of the higher value. Then move the engine mounts so that the measured size decreased by an amount corresponding to the actual misalignment.

Alignment is carried out sequentially in the vertical and horizontal planes.

$$Y_1 = E_y + \frac{L_2 S_y}{D} \text{ — move the bearing number 1 in the vertical plane;}$$

$$Y_2 = E_y + \frac{L_1 S_y}{D} \text{ — move the bearing number 2 in the vertical plane;}$$

$$X_1 = E_x + \frac{L_2 S_x}{D} \text{ — move the bearing number 1 in the horizontal plane;}$$

$$X_2 = E_x + \frac{L_1 S_x}{D} \text{ — move the bearing number 2 in the horizontal plane,}$$

where D - diameter of the coupling half, for the measurements.

After moving and fixing the supports hold control measurement of misalignment, if necessary, correct it. Where applicable, the set control pin to prevent movement of support against vibration and accidental loads.

## **2.6 Factors affecting the alignment of the unit**

If the neck of the unit shaft coupling halves are sagging, then center the them in the normal range is not possible, because the amount of deflection will affect the measurement of alignment.

When the pump alignment may violate the load at failure of the pipe supports or inadequate compensation for their deformities. According to the requirements of TU pipes must not transmit loads on the pump.

Alignment - a thin final assembly operation, so the stage of repair is necessary to identify and eliminate all the faults of the unit and cause misalignment.

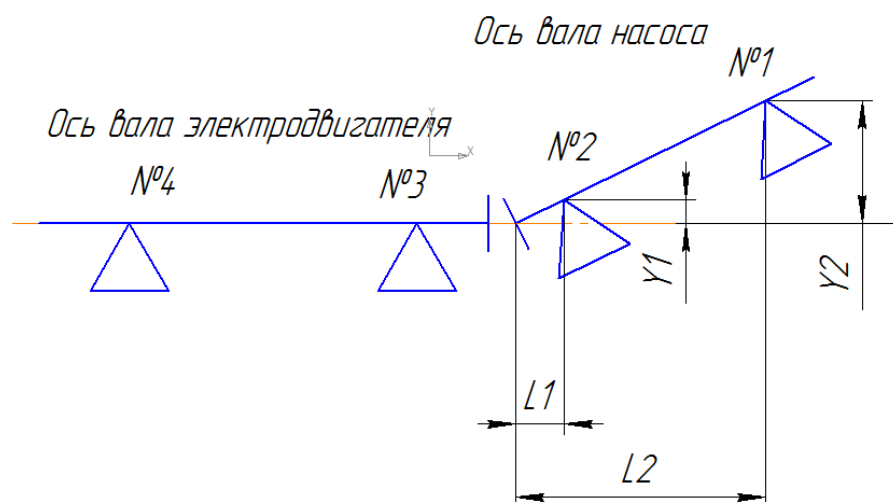


Figure 38 — Influence of type of coupling misalignment on the vibration.

During vibrations in two controlled bearings, shaft misalignment occurs when two coupling mechanisms (for bearings) depends on many parameters, but is most dependent on the type and design of the coupling, its condition. All the variety used in practice of the couplings on the basis of the main design features, means of their effect on the character of vibration misalignment can be summarized in three main groups: Rigid couplings; Flexible couplings; Movable joints with hysteresis.

Rigid coupling — This coupling, by means of which combine two different shaft almost together.

After assembly, rigid couplings rotor shafts will necessarily always be the same force. Misalignment, ie, incorrect installation of the "line of the shaft on the bearings", with no. It affects only changes in the magnitude and direction of forces acting on the bearing warp "flower vibration" in the direction in incorrect mounting bearings.

In parallel to the vertical misalignment is unloaded supports located below opposite a support, via a coupling, while loaded. For angular misalignment of vertical redistribution efforts on short and long bearing, if you count from the coupling half. If the misalignment have a horizontal orientation - that appear relevant horizontal reaction.

Misalignment with rigid couplings and bearings does not create itself perturbing forces, does not affect the spectrum of vibration. Its effect on the vibration

is determined by the change in the stiffness of oil film journal bearings along the gap due to the change of the support reactions.

The result of this relatively simple conclusions are of great consequence - to diagnose misalignment of shafts, connected by rigid coupling, using methods of spectral vibration monitoring is difficult. If you are installing the coupling repair services managed to fully eliminate defective installation of "knee", then the spectra of vibration signals otdiagnostirovat parallel misalignment in a tight coupling is very difficult.

If the "knee" in the clutch, though to a small degree, is present, the diagnosis is possible, but no misalignment will be diagnosed, and the specific integral parameter, which can be roughly defined as "a work of misalignment in the knee." This is because the defect itself like "knee" is one litmus test that leads to the appearance in the spectra of vibration signals characteristic pattern, and to identify misalignment.

If there is no defect in the installation drive type "knee" in the diagnosis of misalignment tight coupling can be everything - still do, but it should be done by other, more "specific" methods of vibration diagnostics, for example, by applying for the diagnosis of synchronous or synchronized vibration signals which registration is more complicated and requires more sophisticated devices.

The flexible coupling — An example of such coupling is coupling lens, wherein the shafts are connected with a special shape element, shaped like a box barometric element. In the spectrum of vibrations on ball near a coupling misalignment misalignment characteristic spectral features are seen in almost a classic manifestation, albeit in a somewhat weakened, it can be said smoothed form. In the radial direction towards the main plane misalignment occurs general increase vibration, particularly the second harmonic frequency of the back. In the axial direction strongly grow second and third harmonics.

Sliding coupling with hysteresis — In this class include those couplings that within small mutual displacements of the coupling halves (tsentruemyh shafts) behave as a free compound, and at large displacements - as a rigid or flexible

coupling. Axis of the rotor assembly after such couplings can remain mutually offset and vibration will not be there anymore, at least for misalignment by a small amount, not exceeding the area of free movement, backlash. This class can be attributed gear couplings, a variety of finger and cam, spring, etc. When misalignment in equipment, which in its magnitude does not come out of the valid range of displacements, coupling with hysteresis, ie, with little mobility, offset shaft displacement and the vibration does not increase significantly. This is the fundamental difference between the methods of vibration diagnostics misalignments from the methods of direct control shaft misalignment, for example, by means of laser tsentrovshikov. In the vibrator clear signs of misalignment appears only when in magnitude offset misalignment exceeds allowable for the design of the coupling.

When simultaneously using two methods of quality control alignment, for example, by vibration and laser tsentrovshika may be difficulties associated with the treatment of conflicting reports. For example, laser tsentrovshik may indicate the presence of misalignment, but is by vibration will not be diagnosed. This contradiction may be the case in the clutch with a hysteresis when the shaft displacement is, but the magnitude of this misalignment is less than allowed for this coupling. Laser tsentrovshik show the true displacement of trees in unit is not operating, and vibration techniques will allow to conclude that such a misalignment does not affect the operation of the unit.

The findings of the two methods are the same in the case where the shift shaft in the bond exceeds the allowable compensation opportunities clutch. Consider the prerequisites of a vibration rastsentrovannoy coupling with hysteresis characteristic harmonics, which is held on the diagnosis of misalignment on the spectra of vibration signals. The picture of "pure misalignment" observed in the presence of a rigid coupling will be superimposed dynamic impact at the moment, "switching the internal clearance in the clutch" when coupling halves are moved in opposite directions in the range of allowable hysteresis. Such a character strokes coupling halves each other leads to temporary fluctuations vibrator, symmetrical about the time axis, ie, the appearance in the spectrum of odd harmonics, the most important of

which, along with the increased first harmonic will be the third harmonic. Fifth and seventh may be observed, but they are small in magnitude. These harmonics are added to the back of the first harmonic frequencies, which occurs almost always, and to the second, which is always inherent misalignment.

Even harmonics of the frequency of the reverse usually occurs in the moment of impact, and because the misalignment in one turn usually have two strikes, then prevailing of the even harmonics is the second harmonic. The appearance of the second harmonic in the signal sufficiently well explained by analyzing the "Rose of vibrations", which has misalignment at two diametrically opposite peak. This distribution pattern of vibrations can be obtained only with the imposition of two harmonic vibrations, the first and the second when the second harmonic modulates first. As a result, the total vibration appearing two peaks.

In the spectrum of the vibration shaft misalignment mechanisms, connected via a coupling with hysteresis often overlap of harmonics from two different causes of increased vibration - Misalignment and "mechanical weakening." Under mechanical weakening is to be understood availability gap in the sleeve, through the space where there are constant collisions coupling halves. The primary cause of the collision is a misalignment.

Qualitative and quantitative relationships in the manifestation of weakness in rastsentrovannoy coupling can be quite correct to judge its condition, to assess the state claw pairs of gear coupling, to detect the presence of broken items in the spring clutch, etc. Beats coupling halves together, caused by misalignment, are the most "hammer" that drives the diagnostic fluctuations.

For each specific type of coupling with backlash nonlinearity type, you can develop a number of simple diagnostic rules allowing enough control its technical condition.

The angular misalignment — Consider the expression in the spectrum of the vibration signal angular shaft misalignment of the two mechanisms on a practical example. This is a multi-stage pump power of 1600 kW for pumping water into the oil reservoir. The pump speed is 3000 rev / min. Angular misalignment is usually

characterized by relatively high overall level of axial vibration. Angular misalignment feature is that the maximum capacity of the axial vibration is concentrated, more often or to the first or second harmonic of rotor speed.

There are cases of the maximum and at the third harmonic, it all depends on the type of coupling and the geometrical position of the rotors in space. In this example, the maximum power is concentrated on the axial vibrations of the first harmonic.

Third harmonic vibration signal may be a maximum at a tilt relative to the horizontal axis of the rotor when the rotor is "rolled" under its own weight toward the corner mufta. Prior axial misalignment phase component of the vibration is changed by 180 degrees on both sides coupling parts. Age harmonic radial direction can not be completely stable. This is consistent with the picture of the physical processes in the unit at an angular misalignment when the basis is the axial coupling halves hitting each other, and the radial force and vibration are already secondary, compared to axial forces.

When correcting this misalignment pump for water injection, the spectra of vibration signals which are shown in Figure 33. during planned maintenance, it was revealed that she had in its composition as well and partial parallel component.

Parallel misalignment — type often has similar symptoms vibrating with angular misalignment, but it is as high radial vibration. Phase radial vibration changes its value to 180 degrees when passing through the sleeve. The ratio of the first and second harmonics of the frequency of the back in a radial direction with parallel misalignment is always about the same - the second harmonic is greater than the first harmonic amplitude and power. This ratio is relative.

The absolute value of the first and second harmonics is determined mainly by two parameters - the size of the existing misalignment and the type and design of the coupling. On the influence of the coupling type to the nature of misalignment has been said above.

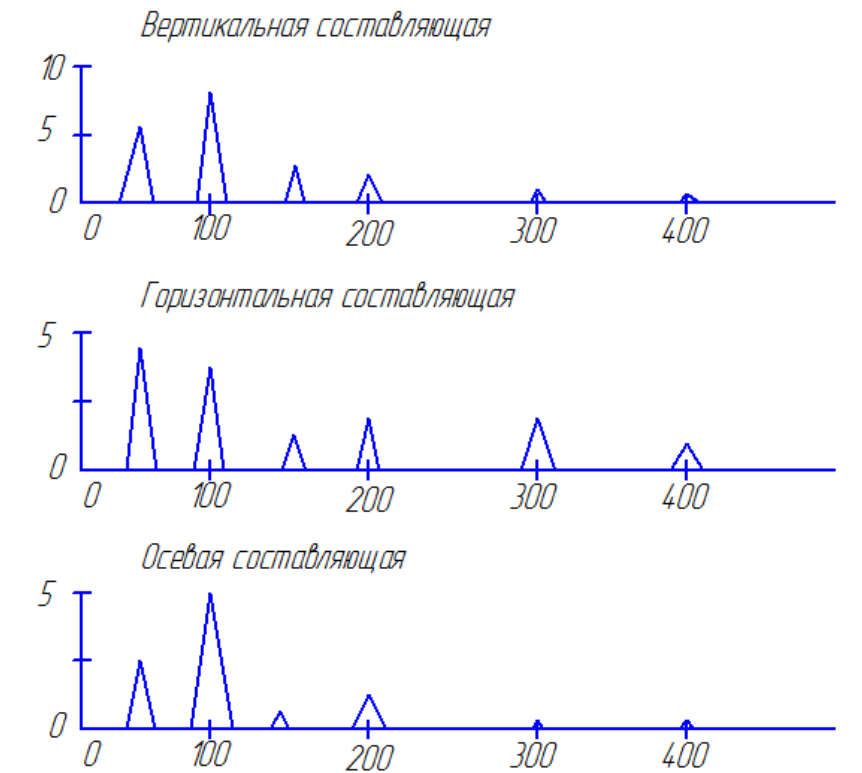


Figure 39 — The spectra with parallel misalignment.

Axial component of vibration parallel misalignment usually increases very slightly, except in the case of misalignment on a worn clutch. With such a coupling in the axial component is usually the maximum second harmonic vibration signal, the third is the maximum rarely happens, only under specific wear on the joint.

Misalignment worn on the sleeve — As mentioned above misalignment can diagnose the condition of the couplings with hysteresis, ie, with a small gap between the elements of the coupling halves type of backlash. Beats arising from misalignment allow the assessment of the integrity of the deterioration of joints and structural elements. The picture displays defects depends on the type of coupling, it is different in gear couplings, finger, spring, etc. Consider the example of the manifestation of misalignment gear coupling, which of - for misalignment, the original cause, there was a significant deterioration of gear pairs, increased gaps in Teeth.

Example vibration spectrum in the vertical direction when the stock is parallel to the vertical misalignment shown in Figure 34.

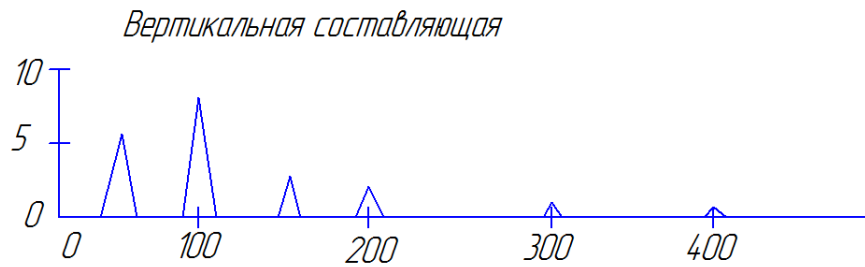


Figure 40 — The spectrum of the vibration of the unit with the misalignment and wear sleeve.

The figure clearly seen the first two harmonics of the back of the frequency characteristic of the shear misalignment, a few less than the third harmonic.

Further, up to the eighth harmonic, and even further, to the twelfth, which is not visible in the spectrum, followed by the harmonic characteristic of the mechanical weakening. The amplitude of these harmonics to about half the size of the harmonics of the misalignment.

Such a spectral pattern indicates a sufficiently strong development of serious and dangerous flaw - wear of the teeth in the clutch. The current technical condition of the gear pairs do not correspond to the given state of the unit and its alignment. If on the spectrum of harmonic attenuation would be almost equal to the harmonics of misalignment, it was possible to speak of an almost complete degradation of the gear pairs in the clutch.

Output for practice in this case two - or replace the clutch (its components) or to achieve perfect alignment, eliminating shear forces in the clutch.

Regime (technological) misalignment — According to his view such a misalignment can be parallel or angled. Their specificity lies in the fact that they are "wandering" in nature. Under certain operating conditions, such equipment misalignment diagnosed by the spectra of vibration signals, and if no other conditions.

The main reasons that lead to the emergence of "wandering" misalignments, you can call:



- Unequal thermal changes in linear bearings parameters leading to different mutual shift of the centers of bearings in space;
- Varying degrees of "stabilization process" or, on the contrary, "the technological instability," when the load on the unit, leading to a change of manifestation misalignments in different modes operation;
- Thermal deformation structures are attached to the unit, for example, the thermal deformation of piping pumps;
- Thermal linear expansion units under the influence of heating during start-up or when changing modes;
- The foundation warp in the process, when the ambient temperature changes of the seasons, etc., leading to distortion of the ideal line of the shaft.

The most important issue that has to be solved in the diagnosis of misalignments, is to identify the causes leading to the emergence of heating (regime) misalignments. If such a cause can not differentiate, then the probability of eliminating misalignment is high.

Misalignment + "knee" + bearing — Here I want to give a practical example, although occurring in practice very often, but showing the complexity of the manifestations of misalignment in the vibrational spectral pattern, which greatly influenced the design of the unit and its current technical condition.

In the turbine unit between the low-pressure cylinder (LPC) and the turbine generator was fixed very interesting pattern of vibrations.

The spectrum of vibration signals from the two sides of the coupling diagnosed unbalance and misalignment shear. The need for alignment mechanism has been controversial, because its expression was sub-standard. On the side of LPC diagnosed purely transverse parallel misalignment, and on the side of the generator - and also purely vertical shear.

On a side elevational view of LPC has only the first harmonic is the same in the transverse direction of the generator. Generally the first harmonic from the two sides of the sleeve is maximized. Imbalance was more pronounced pattern. Trying to balance but ended in a small reduction in vibration.

After the audit, the coupling and centering works vibration decreased to normal.

In the turbine unit between LPC and the generator is usually a flexible coupling lens. When installing the coupling it diagnosed the "elbow". Under the influence of the vertical thermal expansion struts bearing unequal growth at different temperatures in the sleeve parallel to a vertical misalignment occurred.

Also during installation, can and thermal reasons, there was a slight misalignment transverse shear. The end result was a shear misalignment diagonally.

All this led to the fact that shifted due to the "knee sleeve" shafts rotated so that when the shaft of the generator was below the shaft of LPC, LPC unloaded bearing, the thickness of the wedge transmission oil increased. Upon further rotation of the shaft followed by blow LPC bearing laterally. In the next phase of the shaft to strike the alternator bearings, always in the direction from top to bottom.

This was revealed only when the synchronous recording of six vibration signals directly to the two sides of the coupling half.

In many ways, this complex pattern of vibrations, making it difficult to diagnose in the first stage is performed using a single-channel spectrum analyzer, originated from - due to the presence in the unit bearings. In such bearings, oil wedge has a nonlinear load-bearing capacity, whereby under certain conditions, as is evident from the above example, a redistribution of load between the bearings even within one revolution of the shaft.